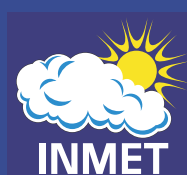


**José Eduardo B. A. Monteiro**  
Organizador



# Agrometeorologia dos Cultivos

O fator meteorológico na produção agrícola



**Instituto Nacional de Meteorologia**



# Agrometeorologia dos Cultivos

O fator meteorológico na produção agrícola



100 ANOS de  
Meteorologia  
1909 • 2009



**República Federativa do Brasil**

Luiz Inácio Lula da Silva  
Presidente da República

**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Reinhold Stephannes  
Ministro da Agricultura

**Instituto Nacional de Meteorologia**

Antonio Divino Moura  
Diretor

**Coordenação-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento**

Lauro Tadeu Guimarães Fortes  
Coordenador-Geral

**Coordenação Geral de Agrometeorologia**

Alaor Moacyr Dall'Antonia Junior  
Coordenador-Geral

**Coordenação-Geral de Apoio Operacional**

Edil Manke  
Coordenador-Geral

**Coordenação-Geral de Modelagem Numérica**

Francisco Quixaba Filho  
Coordenador-Geral

**Coordenação-Geral de Sistemas de Comunicação**

José Mauro de Rezende  
Coordenador-Geral

**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA



# **Agrometeorologia dos Cultivos**

O fator meteorológico na produção agrícola

**José Eduardo B. A. Monteiro**  
Organizador

**1ª Edição**

**BRASÍLIA - DF**  
**2009**

© Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2009  
Eixo monumental, Via S1, Sudoeste  
CEP: 70680-900, Brasília-DF  
(61) 3344-3333, (61) 2142-4602  
www.inmet.gov.br

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, por qualquer meio, desde que citada a fonte e que não seja para venda ou qualquer fim comercial.

**Equipe editorial:**

Supervisão editorial/Organização: José Eduardo B. A. Monteiro

Revisão de Linguagem: Rubens Leite Vianello  
José Eduardo B. A. Monteiro  
Romísio Geraldo Bouhid André

Revisão de Bibliografia: Suelena Costa Braga Coelho  
Márcia Cristina Tomaz de Aquino

Supervisão Geral: Lauro Tadeu Guimarães Fortes

**Produção:**

Projeto Gráfico, Capa e Diagramação: Marcelo Bernardes Nogueira

Edição de Fotografia e Ilustrações: Ricardo Coura Melo Andrade

**Fotografias:**

Composição da Capa: Stock.xchng ([www.sxc.hu](http://www.sxc.hu)); John Nyberg, Dani Simmonds, Usuário: abcdz2000, Crystal Woroniuk, Tibor Fazakas, Robert Linder

Abertura dos Capítulos: Stock.xchng ([www.sxc.hu](http://www.sxc.hu)); Keenan Milligan; Fernando Weberich; Andrey Volodov; Cris DeRaud; Kliverap (usuário do Stock.xchng); Pat Herman; Clix (usuário do Stock.xchng); Johannes Wienke; Andrei Rachov; David Thomson; Nadia Arai; George Popa; Kriss Szkurlatowski; A. Carlos Herrera; Luiz Baltar; Mooncross (usuário do Stock.xchng); Marek Luty; Slavomir Ulicny; Juerg Steiner; Darias Martin; Meliha Gojak; Stephanie Berghaeuser; Alessandro Paiva; Ulrik De Wachter; Karolina Przybysz; Constantin Jurcut; Leonardo Breda

Catálogo na fonte: Biblioteca Nacional de Meteorologia / INMET / MAPA

Agrometeorologia dos cultivos : o fator meteorológico na produção agrícola / organizador José Eduardo B. A. Monteiro. - Brasília, DF: INMET, 2009.  
530 p.: il

ISBN: 978-85-62817-00-7

1. Agrometeorologia . 2. Fenologia. 3. Agricultura. 4. Meteorologia I . Monteiro, José Eduardo B. A. (org.).

CDU 631:551.51



## EQUIPE TÉCNICA

### Organizador:

José Eduardo B. A. Monteiro, Eng. Agrônomo, Dr.

Consultor de Desenvolvimento e Pesquisa – Coordenação Geral de Desenvolvimento e Pesquisa [CDP] /  
Instituto Nacional de Meteorologia [INMET] / Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento [MAPA]

### Autores\* – Parceiros Institucionais:

Admir Lopes Mora – Norske Skog  
Alberto Miele – EMBRAPA Uva e Vinho  
Aldemir Pasinato – EMBRAPA Trigo  
Alexandre B. Heinemann – EMBRAPA Arroz e Feijão  
Alexandre Hoffmann – EMBRAPA Uva e Vinho  
Alexandre Lima Nepomuceno – EMBRAPA Soja  
Aline Santana de Oliveira – UFV  
Ana Alexandrina G. da Silva – EMBRAPA TC  
Ana Cristina Pinto Juhász – CTNM/EPAMIG  
Anderson Santi – EMBRAPA Trigo  
André Quintão de Almeida – UFV  
Antonio Riroyei Higa – UFPR  
Aristides Ribeiro – UFV  
Arno Bernardo Heldwein – UFSM  
Augusto Arlindo Simon – Tanagro S.A.  
Bráulio Otomar Caron – CESN/UFSM  
Carlos Alberto S. Souza – CEPLAC  
Carlos G. Silveira Pedreira – ESALQ/USP  
César de Castro – EMBRAPA Soja  
Cíntia Passos Castro – EMBRAPA TC  
Clovis Alberto Volpe – UNESP/FCAV  
Dalziza de Oliveira – IAPAR  
Daniela Kubiak de Salvatierra – ESALQ/USP  
Denise Schmidt – CESN/UFSM  
Dilson Antônio Bisognin – UFSM  
Domingo Haroldo Reinhardt – EMBRAPA MFT  
Ederaldo José Chiavegato – ESALQ/USP  
Edgar Ricardo Schöffel – UFPe/FAEM  
Edson Eduardo Melo Passos – EMBRAPA TC  
Eduardo Caierão – EMBRAPA Trigo  
Eduardo Delgado Assad – EMBRAPA Informática  
Elmar Luiz Floss – UPF/FAMV  
Elza Jacqueline L. Meireles – EMBRAPA Café  
Eugênio Ferreira Coelho – EMBRAPA MFT  
Fabio Ricardo Marin – EMBRAPA Informática  
Felipe Gustavo Pilau – CESN/UFSM  
Felipe Tonato – ESALQ/USP  
Francisco Mandelli – EMBRAPA Uva e Vinho  
Gabriel Ferreira Bartholo – CTSM/EPAMIG  
Genei Antonio Dalmago – EMBRAPA Trigo  
Getúlio A. Pinto da Cunha – EMBRAPA MFT  
Giampaolo Queiroz Pellegrino – UNICAMP/CEPAGRI  
Gilberto Omar Tomm – EMBRAPA Trigo  
Gilberto Rocca da Cunha – EMBRAPA Trigo  
Gilmar Ribeiro Nachtigall – EMBRAPA Uva e Vinho  
Giovani Greigh de Brito – EMBRAPA Algodão  
Heverly Moraes – IAPAR  
Hilton Silveira Pinto – UNICAMP/CEPAGRI  
Homero Bergamaschi – UFRGS  
João Caetano Fionavanço – EMBRAPA Uva e Vinho  
João Leonardo F. Pires – EMBRAPA Trigo  
Joel Irineu Fahl – IAC/APTA  
Jorge Tonietto – EMBRAPA Uva e Vinho  
José Carlos F. de Resende – CTNM/EPAMIG  
José de Alencar N. Moreira – EMBRAPA Algodão  
José Eduardo B. A. Monteiro – INMET  
José Fideles Filho – UEPB/EMEPA  
Jose Renato Boucas Farias – EMBRAPA Soja  
José Ricardo M. Pezzopane – EMBRAPA Pecuária Sudeste  
Jurandir Zullo Junior – UNICAMP/CEPAGRI  
Leocádio Grodzki – IAPAR  
Luis Carlos Nogueira – EMBRAPA TC  
Luis César Bonfim Gottardo – ESALQ/USP  
Luís Fernando Stone – EMBRAPA Arroz e Feijão  
Luiz Antônio dos Santos Dias – UFV  
Luiz Francisco da Silva Souza – EMBRAPA MFT  
Marcelo B. Paes de Camargo – IAC/APTA  
Márcio André Stefanelli Lara – ESALQ – USP  
Marco A. F. Conceição – EMBRAPA Uva e Vinho  
Marco Antonio G. Aguilar – CEPLAC  
Marcos Silveira Wrege – EMBRAPA Florestas  
Margarete M. Lordelo Volpato – CTSM/EPAMIG  
Maria Eliane Durigan – IAPAR  
Maria Isaura P. de Oliveira – EMBRAPA Algodão  
Maria Regina G. Ungaro – IAC/APTA  
Mariano Pereira Silva – UFV  
Napoleão E. Macedo Beltrão – EMBRAPA Algodão  
Nereu Augusto Streck – UFSM  
Nídio Antonio Barni – FEPAGRO  
Nilza Patrícia Ramos – EMBRAPA Meio Ambiente  
Norman Neumaier – EMBRAPA Soja  
Nuno Rodrigo Madeira – EMBRAPA Hortaliças  
Odilon Reny R. F. da Silva – EMBRAPA Algodão  
Otávio Álvares de Almeida – EMBRAPA MFT  
Paulo Augusto Manfron – UFSM  
Paulo Cesar Sentelhas – ESALQ/USP

Paulo Henrique Caramori – IAPAR  
Paulo José Hamakawa – UFV  
Rafael Vasconcelos Ribeiro – IAC/APTA  
Raquel C. E. Baesso – UFV  
Robson Alves de Oliveira – UFV  
Rodrigo M. de A. Pimentel – CTNM/EPAMIG  
Ronaldo Matzenauer – FEPAGRO  
Rosana Clara Victoria Higa – EMBRAPA Florestas  
Sérgio Luis Rodrigues Donato – EFAAJT

Silas Mochiutti – EMBRAPA Amapá  
Silvando Carlos da Silva – EMBRAPA Arroz e Feijão  
Torquato M. de Andrade Neto – UFRB  
Valter Rodrigues Oliveira – EMBRAPA Hortaliças  
Vânia Aparecida Silva – CTNM/EPAMIG  
Velci Queiróz de Souza – CESN/UFMS  
Waldir Aparecido Marouelli – EMBRAPA Hortaliças  
Waltemiltom Vieira Carataxo – EMBRAPA Algodão  
Yhasmin Gabriel Paiva – UFV

\*A qualificação, instituição e contato de cada autor encontram-se nas notas da primeira página do respectivo capítulo.

Siglas: APTA – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios; CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura; CEPLAC – Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; CESN – Centro de Educação Superior Norte; CTNM – Centro Tecnológico do Norte de Minas; CTSM – Centro Tecnológico do Sul de Minas; EFAAJT – Escola Agrotécnica Federal Antônio José Teixeira; EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; EMEPA – Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba; EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”; FAEM – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel; FAMV – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária; FCAV – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias; FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária; IAC – Instituto Agrônomo de Campinas; IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná; INMET – Instituto Nacional de Meteorologia; MFT – Mandioca e Fruticultura Tropical; UEPB – Universidade Estadual da Paraíba; UFPEl – Universidade Federal de Pelotas; UFPR – Universidade Federal do Paraná; UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia; UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul; UFMS – Universidade Federal de Santa Maria; UFMS – Universidade Federal de Santa Maria; UFV – Universidade Federal de Viçosa; UNESP – Universidade Estadual Paulista; UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas; UPF – Universidade de Passo Fundo; USP – Universidade de São Paulo.

## **EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

### **Revisão Técnica e de Linguagem:**

Rubens Leite Vianello, Meteorologista, Dr.

*Consultor de Desenvolvimento e Pesquisa – CDP / INMET / MAPA*

José Eduardo B. A. Monteiro, Eng. Agrônomo, Dr.

*Consultor de Desenvolvimento e Pesquisa – CDP / INMET / MAPA*

Romisio Geraldo Bouhid André, Meteorologista, Dr.

*Consultor de Desenvolvimento e Pesquisa – CDP / INMET / MAPA*

### **Revisão de Bibliografia:**

Suelena Costa Braga Coelho

*Biblioteca Nacional de Meteorologia / INMET / MAPA*

Márcia Cristina Tomaz de Aquino

*Biblioteca Nacional de Meteorologia / INMET / MAPA*

### **Supervisão Geral:**

Lauro Tadeu Guimarães Fortes, Phd.

*Coordenador Geral de Desenvolvimento e Pesquisa – CDP / INMET / MAPA*





## Prefácio

---

O INMET tem exercitado, em anos recentes, uma estratégia de atuação em que – além de aprimorar permanentemente sua capacidade de monitoramento, previsão de tempo e clima e processamento de informações meteorológicas nos mais diversos níveis – busca engajar, no processo de atendimento comunitário, o usuário final dessas informações. O pressuposto é que, para maximização dos benefícios, o usuário deva participar da definição dos produtos que lhe são mais úteis.

Seguindo tal preceito, consolidado em décadas de atuação no campo da pesquisa e da prestação de serviços meteorológicos, o INMET tem buscado produzir aplicações das informações meteorológicas e climáticas que atendam às necessidades específicas da comunidade usuária, no âmbito governamental e privado. Volta-se, neste intuito, para o setor agropecuário – uma prioridade do Instituto, vinculado, desde a origem em 1909, ao Ministério da Agricultura – e para outros setores particularmente sensíveis às condições do tempo e do clima, como Defesa Civil, Saúde Pública, Energia e Recursos Hídricos. Para melhor implementar tal estratégia, o INMET logrou, em 2005, a criação, em sua estrutura organizacional, de uma nova Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Pesquisa (CDP).

O impacto do clima na produtividade e na qualidade final dos cultivos é amplamente reconhecido, respondendo a incerteza climática por substancial parcela do risco que afeta a atividade agrícola. Tal fato ganha ainda maior evidência no momento em que a sociedade devota particular atenção ao problema do aquecimento global e das mudanças climáticas decorrentes.

A boa gestão do risco climático na agricultura demanda ferramentas objetivas que combinem as informações sobre o comportamento do tempo e do clima com o conhecimento quantitativo das relações entre variáveis climáticas e ambientais e o impacto resultante sobre os diferentes cultivos.

A idealização deste livro surgiu da necessidade de informações que permitam ao INMET desenvolver um Sistema de Análise de Dados Agrometeorológicos orientado para os principais cultivos do Brasil, com o objetivo de gerar informações práticas e de interesse agrônomo, com abrangência nacional. Este Sistema exploraria também, em benefício do agricultor e do agronegócio, os dados de monitoramento meteorológico registrados pela rede de estações do Instituto, bem como o acervo de dados históricos disponíveis nesta instituição centenária e as previsões de tempo e clima que vêm sendo produzidas. A constatação de que tais informações agrometeorológicas não estavam acessíveis nos níveis de detalhe, de qualidade e de organização pretendidos para o projeto, ensejou a iniciativa de colecioná-las e organizá-las de forma sistemática.

Incumbido de coordenar essa tarefa, o Dr. Eduardo Monteiro, consultor do INMET, logrou motivar e conseguir a adesão de um notável time de especialistas, composto, ao todo, por 105 autores e co-autores de 31 capítulos que compõem o livro, filiados a 37 organizações de renome. Cada equipe, responsável por uma cultura de sua especialidade, produziu sua contribuição segundo um roteiro comum, elaborado pelo coordenador.

O resultado desse esforço conjunto é um livro de referência, “Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola”, reunindo conhecimentos que contribuirão para a operação dos serviços agrometeorológicos, além de facilitar o acesso a informações fundamentais, tanto para o estudo, o ensino e a pesquisa do tema quanto para as atividades de produtores rurais e profissionais do setor agropecuário.

Temos a convicção de que este livro, inédito no Brasil, representará uma valiosa contribuição que o INMET, no ano de seu centenário, em parceria com todas as instituições colaboradoras, oferece à sociedade brasileira.

**Antonio Divino Moura**  
Diretor do INMET

**Lauro T. G. Fortes**  
Coordenador Geral de  
Desenvolvimento e Pesquisa



# Apresentação

---

No sistema produtivo agrícola, as condições meteorológicas representam fatores exógenos que afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de plantas e animais. Durante seu ciclo, a planta responde diretamente às condições meteorológicas, as quais formam uma combinação de fatores cujos efeitos podem variar desde os mais favoráveis até os mais desfavoráveis ao crescimento e à produtividade vegetais.

A Meteorologia Agrícola, ou Agrometeorologia, tem por objetivo colocar a Ciência Meteorológica a serviço da Agricultura, buscando produzir o máximo, com o mínimo de recursos naturais e artificiais, com o menor risco econômico e de forma sustentável. Neste sentido, a Agrometeorologia, ciência multidisciplinar por definição, reúne uma série de conhecimentos necessários à análise e ao entendimento das relações entre o ambiente físico e as atividades agrícolas, bem como à orientação das ações de manejo. Porém, grande quantidade de informações importantes para as aplicações e ferramentas que esta ciência oferece encontra-se dispersa em várias disciplinas agronômicas.

Buscando reduzir tal limitação, o principal objetivo deste livro foi reunir uma ampla base de informações sobre alguns dos principais cultivos da agricultura brasileira e suas relações com as condições meteorológicas.

Sem se estender sobre as metodologias e aplicações próprias da Agrometeorologia, este livro restringe seu foco nas culturas e nas características que determinam a produtividade em função do ambiente a que são submetidas. Para isso, contamos com a participação de um excelso time de colaboradores de diversas especialidades e instituições nacionais de ensino e pesquisa.

A reunião e a sistematização do amplo conhecimento, bem como a promoção do intercâmbio multidisciplinar são essenciais para o desenvolvimento e a ampliação da capacidade prática da Agrometeorologia.

Assim, esperamos ainda, colocar em evidência muitos assuntos ainda carentes de informações e pesquisas, em diversas culturas. Apesar dos avanços contínuos nas áreas de monitoramento meteorológico, de informática e nos métodos de modelagem do crescimento e produção vegetal, ainda faltam conhecimentos básicos sobre muitas culturas abordadas, conhecimentos estes indispensáveis para gerar informações agrometeorológicas de qualidade.

*Eng. Agrônomo, Dr.  
José Eduardo B. A. Monteiro*




















# Sumário

---















## Parte I – Introdução

	Agrometeorologia dos cultivos.....	3
---	------------------------------------	---

## Parte II – Cultivos temporários

	Abacaxi.....	15
	Algodão.....	33
	Amendoim.....	51
	Arroz.....	63
	Aveia.....	81
	Batata.....	91
	Cana-de-açúcar.....	109
	Canola.....	131
	Cebola.....	151
	Cevada.....	167
	Feijão.....	183
	Girassol.....	203
	Mamona.....	223
	Milho.....	237
	Soja.....	261
	Trigo.....	279
	Triticale.....	295

## Parte III – Cultivos permanentes

	Acácia-negra.....	311
	Banana.....	321
	Cacau.....	333
	Café.....	351
	Citros.....	373
	Coqueiro.....	393
	Eucalipto.....	407
	FORAGEIRAS brachiaria, panicum e cynodon.....	425
	Macieira.....	449
	Pinhão manso.....	465
	Pinus.....	477
	Sisal.....	489
	Uva em clima temperado.....	503
	Uva em clima tropical.....	517



*PARTE I*

# INTRODUÇÃO





# Agrometeorologia dos Cultivos

## Informações para uma Agricultura Sustentável

Paulo Cesar Sentelhas<sup>(1)</sup>

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro<sup>(2)</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

A agricultura é a atividade econômica mais dependente das condições climáticas. Os elementos meteorológicos afetam não só os processos metabólicos das plantas, diretamente relacionados à produção vegetal, como também as mais diversas atividades no campo. De acordo com Petr (1990) e Fageria (1992), citados por Hoogenboom (2000), ao redor de 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo devem-se à variabilidade das condições meteorológicas durante o ciclo de cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro, já que os agricultores não podem exercer nenhum controle sobre tais fenômenos naturais.

Além de influenciar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas, o clima afeta também a relação das plantas com microorganismos, insetos, fungos e bactérias, favorecendo ou não a ocorrência de pragas e doenças, o que demanda medidas de controle adequadas. Muitas práticas agrícolas de campo, como o preparo do solo, a semeadura, a adubação, a irrigação, as pulverizações, a colheita, dentre outras, dependem também de condições específicas de tempo e de umidade no solo, para que possam ser realizadas de forma eficiente (PEREIRA et al., 2002).

Dada a grande importância do clima para a produção agrícola, o uso de informações meteorológicas e climáticas é fundamental para que a agricultura se torne uma atividade sustentável (SIVAKUMAR et al., 2000). Nesse contexto, a agrometeorologia, ciência interdisciplinar que estuda a influência do tempo e do clima na produção de alimentos, fibras e energia, assume papel estratégico no entendimento e na solução dos problemas enfrentados pela agricultura (MAVI E TUPPER, 2004).

A preocupação crescente com o aumento da população mundial, com a degradação dos recursos naturais e com a sustentabilidade da agricultura tem exigido esforços no desenvolvimento de estratégias e práticas adequadas de uso do solo, a partir do melhor entendimento das relações entre a agricultura e o clima. Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem o planejamento e o processo de tomadas de decisão, que resulte em menores impactos ambientais e no aumento da resiliência da agricultura, tem sido um dos objetivos das instituições governamentais ligadas à agricultura, ao ambiente e aos recursos naturais.

Para que tais ferramentas sejam desenvolvidas e disponibilizadas aos agricultores, é necessário conhecer os impactos do tempo e do clima sobre cada cultura, sendo este o principal objetivo desta obra, denominada *Agrometeorologia dos Cultivos*.

### 2. AGROMETEOROLOGIA DOS CULTIVOS

O conhecimento das relações entre as condições físicas do ambiente, em especial, solo e atmosfera, e as diversas espécies cultivadas permite a obtenção de informações mais precisas acerca da influência do tempo e do clima no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade das culturas. A essa influência específica das condições ambientais em uma dada cultura agrícola e suas particularidades denomina-se *Agrometeorologia dos Cultivos*.

De modo geral, as principais variáveis meteorológicas que afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas são chuva, temperatura do ar e radiação solar (HOOGENBOOM, 2000), havendo ainda a influência do fotoperíodo, da umidade do ar e do solo, da velocidade e da direção do vento (PEREIRA et al., 2002; MAVI E TUPPER, 2004).

A radiação solar provê a energia necessária aos processos associados à fotossíntese, afetando

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Prof. Associado do Setor de Agrometeorologia, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) - Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP. E-mail: pcsentel@esalq.usp.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Consultor em Desenvolvimento e Pesquisa, Coordenação Geral de Desenvolvimento e Pesquisa (CDP), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília, DF. E-mail: eduardo.monteiro@inmet.gov.br; agro.project@gmail.com.

assim a produção de carboidratos e, conseqüentemente, o crescimento da biomassa das plantas. A fotossíntese responde também à temperatura do ar, que afeta a taxa das reações metabólicas das plantas, regulando o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Temperaturas crescentes induzem ao aumento da taxa de fotossíntese, invertendo-se, porém, a relação, sob temperaturas muito elevadas.

A temperatura também afeta uma série de outros processos nas plantas, como a respiração de manutenção, a transpiração, o repouso vegetativo, a duração das fases fenológicas das culturas, a indução ao florescimento, o conteúdo de óleo em grãos, a taxa de germinação de sementes, etc. (PEREIRA et al., 2002, MAVI E TUPPER, 2004). Tantas interferências tornam a temperatura a principal variável meteorológica a ser considerada nos zoneamentos agroclimáticos, juntamente com a chuva (CAMARGO et al., 1974, 1977).

Diretamente, a chuva não afeta nenhum dos processos metabólicos das plantas. Contudo, ela age indiretamente, afetando tanto o crescimento quanto o desenvolvimento das culturas (HOOGENBOOM, 2000), além da disponibilidade hídrica dos solos que, por sua vez, influencia a absorção de água pelas raízes e o *status* hídrico das culturas. Em períodos de poucas chuvas, a seca induz as plantas ao fechamento de seus estômatos, fixando menos CO<sub>2</sub>, afetando negativamente a fotossíntese. Por outro lado, períodos com chuvas excessivas levam à redução da oxigenação dos solos, diminuindo a atividade radicular e a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Tanto as secas quanto o encharcamento dos solos levam à redução da produtividade das culturas.

O fotoperíodo é uma variável do ambiente que interfere tanto no crescimento quanto no desenvolvimento das culturas. No contexto do crescimento, o fotoperíodo corresponde ao tempo em que as plantas realizam o processo da fotossíntese. Assim, nas maiores latitudes, onde o fotoperíodo é mais longo durante a estação de cultivo, a produtividade é maior, já que a fotossíntese ocorre por mais tempo. Além deste efeito quantitativo, algumas culturas têm seu desenvolvimento afetado pelo fotoperíodo, sendo, por isso, consideradas plantas fotossensíveis. Um exemplo clássico é a soja, que só atinge a fase reprodutiva caso o fotoperíodo crítico seja atingido.

O vento é outra variável que afeta indiretamente as culturas. Sua influência pode ser positiva ou negativa, dependendo de sua velocidade. De acordo com Pereira et al. (2002), em velocidades baixas a moderadas, o vento contribui para a renovação do suprimento de CO<sub>2</sub> e para a manutenção da transpiração das plantas. No entanto, em velocidades excessivas, o vento é responsável pelo aumento demasiado da transpiração das plantas, levando ao fechamento dos estômatos, à redução do número de folhas e da área foliar, resultando em queda brusca da fotossíntese. Além disso, ventos intensos provocam danos mecânicos nas plantas, como acamamento, queda de folhas e quebra de galhos e troncos.

Finalmente, a umidade do ar é outra variável que atua de diversas formas indiretas sobre as culturas, afetando, inclusive, o poder evaporante do ar e condicionando a transpiração. Ambientes muito secos levam ao aumento excessivo da transpiração, na maioria das plantas. Em outros casos, podem provocar danos indiretos resultantes de desordens fisiológicas. Além destes aspectos, a umidade do ar é muito importante na interação entre as plantas e os microorganismos, especialmente fungos e bactérias, causadores de doenças. Em condições de alta umidade, onde a duração do período de molhamento foliar é mais prolongada, há o favorecimento da ocorrência de doenças que afetam o desempenho das culturas, reduzindo a quantidade e a qualidade dos produtos agrícolas (SENTELHAS, 2004).

Na realidade, a interação entre os elementos meteorológicos e a cultura pode ser complexa, resultando em uma variedade de reações biológicas e de condições ambientais em constante mudança. Além disso, a diversidade de espécies cultivadas comercialmente no Brasil é muito grande, ultrapassando uma centena. Considerando-se apenas as 30 culturas de maior importância econômica, ainda assim chega-se a uma lista tão diversa que vai da cebola à cana-de-açúcar, dentre os cultivos temporários, e do sisal ao café, dentre os perenes. Ademais, as informações importantes para uma cultura não o são, necessariamente, para outra. Enquanto a temperatura é crítica para a definição do comprimento e da espessura das fibras em formação na maçã do algodoeiro, a deficiência hídrica é particularmente importante para o arroz de sequeiro, durante a formação e a emissão da panícula, enquanto o fotoperíodo é fator determinante para o início da

fase reprodutiva da soja. Além destes, existem vários outros exemplos. Por isso, o entendimento das particularidades de cada cultura e das condições do ambiente físico é fundamental para um sistema de produção mais eficiente e sustentável (SIVAKUMAR et al. 2000). Esforços nesse sentido vêm sendo feitos há alguns anos.

A Organização Meteorológica Mundial (OMM), por meio de sua Divisão de Agrometeorologia, publicou, em 1982, o Guia de Práticas Agrometeorológicas (GAMP - *Guide for Agricultural Meteorological Practices*), com capítulos referentes à influência dos elementos meteorológicos em diferentes culturas agrícolas de interesse mundial. Esse guia foi reeditado recentemente, encontrando-se disponível na internet (WMO, 2009). Outra publicação que reúne informações gerais sobre a agrometeorologia de diferentes culturas é o Boletim de Irrigação e Drenagem, nº. 33, da FAO, intitulado “*Efeito da Água no Rendimento das Culturas*” (DOORENBOS E KASSAM, 1994). Nesse boletim constam informações gerais sobre os requerimentos térmicos e hídricos de 26 diferentes culturas, sendo uma das principais fontes de informação para o planejamento agrícola e para métodos de estimativa da produtividade. No Brasil, não existem, até o momento, publicações que reúnam informações agrometeorológicas sobre as diversas culturas de interesse nacional. Tais conhecimentos, reunidos em um só livro, facilitarão o acesso a informações fundamentais para o estudo, o ensino e a pesquisa do tema, sendo do interesse de produtores rurais e de profissionais do setor agropecuário, além de grande utilidade para a operação dos serviços agrometeorológicos, públicos ou privados.

### 3. AGROMETEOROLOGIA, PLANEJAMENTO E TOMADA DE DECISÃO NA AGRICULTURA

Informações agrometeorológicas são aquelas que consideram os dados meteorológicos associados aos requerimentos dos cultivos, com o objetivo de estimar os respectivos impactos sobre as culturas e as práticas agrícolas, tanto no âmbito do planejamento quanto da tomada de decisão. Por isso, segundo Rijks e Baradas (2000), os Serviços Nacionais de Meteorologia têm muito a contribuir com a economia nacional, por meio da divulgação e do uso eficiente de tais informações.

As informações agrometeorológicas, de acordo com Mavi e Tupper (2004), podem ser empregadas de diferentes maneiras na agricultura. Primeiramente, tais informações podem ser utilizadas para o planejamento dos cultivos (componente estratégica), tanto na escala macroclimática quanto topoclimática. Além disso, essas informações podem ser empregadas no processo de tomada de decisão, quanto ao melhor momento para a execução de diferentes práticas agrícolas (componente tática). Finalmente, as informações agrometeorológicas também podem permitir aos sistemas agrícolas adquirir maior capacidade para enfrentar condições meteorológicas adversas, tornando-os mais resilientes. Nesse contexto, as informações, quando associadas aos avanços nas áreas de agrometeorologia, climatologia, meteorologia, sensoriamento remoto, geoprocessamento e informática, têm melhorado substancialmente a possibilidade dos agricultores ajustarem suas atividades às variabilidades e mudanças do clima, levando à redução dos riscos na agricultura. No entanto, ainda há muito a ser feito para facilitar a adoção deste conhecimento e difundir sua aplicação prática na produção agrícola.

A informação agrometeorológica pode ser categorizada em três graus de complexidade. As informações de primeiro grau, mais simples, são geralmente numéricas, a exemplo dos dados meteorológicos puros ou derivados de cálculos simples, como os do balanço hídrico climatológico, que indicam a disponibilidade ou a deficiência hídrica do solo. Informações de segundo grau são produzidas a partir de dados meteorológicos e parâmetros específicos da cultura. Em geral, expressam o estado ou a resposta da cultura à condição meteorológica observada. O estado da cultura pode ser descrito de diferentes formas como, por exemplo, em relação ao seu desenvolvimento, ou seja, o estágio fenológico da cultura. Tal estado pode ser caracterizado também em função da satisfação de suas necessidades hídricas e, ou, térmicas, ou mesmo quanto ao desempenho esperado em função da radiação solar disponível em dado período. Pode ainda informar qual o dano provável provocado pela ação de ventos intensos, geadas, granizo ou qualquer outro evento meteorológico adverso. Outros

modelos e técnicas podem considerar um segundo componente biológico e passam a estimar danos causados por pragas e doenças. A análise conjunta de todos os fatores que afetam o crescimento da cultura permite reduzi-los a um único índice, que se correlaciona diretamente com a produtividade. Por outro lado, a análise em separado de cada fator permite identificar quais os limitantes do sistema, para cada local, estação de cultivo ou cultura analisada. Por fim, as informações de terceiro grau são aquelas que indicam qual a ação de manejo mais adequada para o estado no qual a cultura se encontra em dado momento. Devem ser o resultado da adequação das informações de uma escala nacional ou regional para as particularidades das condições locais. Geralmente, a geração de tais informações agrometeorológicas requer a participação de profissionais experientes e capacitados para interpretar a informação e aplicá-la no contexto local.

A seguir, serão apresentados alguns exemplos de como as informações agrometeorológicas podem ser empregadas no planejamento, na tomada de decisão e na obtenção de resiliência na agricultura.

### 3.1 Planejamento Agrícola

O planejamento agrícola diz respeito às ações a serem realizadas antes do estabelecimento da cultura, ou seja, quando o empreendimento agrícola começa a ser programado. Em função disso, o planejamento fundamenta-se, basicamente, nas informações do clima e de sua variabilidade interanual, no local de interesse. Dentre as informações agrometeorológicas empregadas no planejamento agrícola, o zoneamento agroclimático é a mais conhecida.

O zoneamento agroclimático é a determinação da aptidão climática das regiões de um País, Estado ou Município. Assim, em cada região, define-se a aptidão de cada área para o cultivo de determinada espécie de interesse agrícola, considerando as exigências agroclimáticas dos cultivos e as informações macroclimáticas. O macroclima ou clima regional é condicionado pelos fatores determinantes da macroescala ou escala geográfica, como latitude, altitude, continentalidade, massas de ar, entre outros. Visto que o macroclima não pode ser alterado pelo homem para se adequar às necessidades dos cultivos, essa informação deve ser a primeira considerada no planejamento de um empreendimento agrícola (PEREIRA et al., 2002).

O zoneamento agrícola pode ser empregado não somente para a delimitação de áreas aptas, marginais ou inaptas às culturas, como realizado por Camargo et al. (1974) para o Estado de São Paulo, mas também para o estabelecimento das melhores épocas de semeadura, com base em informações probabilísticas (ALFONSI et al., 1995), das zonas de maturação de frutos (SENTELHAS et al., 1995), do risco climático associado aos impactos do déficit hídrico nas culturas (FARIAS et al., 2001), de áreas de escape de doenças (ORTOLANI et al., 1986), do potencial produtivo e da qualidade dos produtos (ORTOLANI, 2001). Como se vê, há uma variedade de informações que podem ser organizadas pelo método do zoneamento, que nada mais é que a espacialização de uma ou mais informações combinadas. Dada sua importância, o zoneamento agrometeorológico vem sendo empregado por bancos e seguradoras, para subsidiar as ações de financiamento e seguro agrícolas (ROSSETTI, 2001).

As figuras a seguir apresentam alguns exemplos de mapas de zoneamento agroclimático. Na Figura 1, observa-se o zoneamento agrometeorológico da cultura do pêssego, no Estado do Paraná, realizado pelo IAPAR. Nesse caso, são identificadas três zonas de cultivo: uma inapta, outra apta para variedades com baixa exigência em horas de frio e, uma última, apta para variedades exigentes em horas de frio. Na Figura 2, para o Estado do Rio Grande do Sul, tem-se o zoneamento agroclimático realizado pela Embrapa Trigo, para a cultura da cevada cervejeira, com as melhores épocas de semeadura para cada Município. Este tipo de zoneamento combina tanto a aptidão da região quanto o período mais recomendável para semeadura. Na Figura 3, encontra-se o zoneamento de risco climático, produzido pela Embrapa Arroz e Feijão, para a cultura do feijão, no Estado de Goiás, considerando-se a semeadura entre 11 e 20 de janeiro. Finalmente, a Figura 4 apresenta o zoneamento agroclimático para a qualidade da bebida do café, no Estado de São Paulo (ORTOLANI, 2001), podendo-se observar que as melhores bebidas são produzidas no extremo nordeste do Estado, especificamente na região.

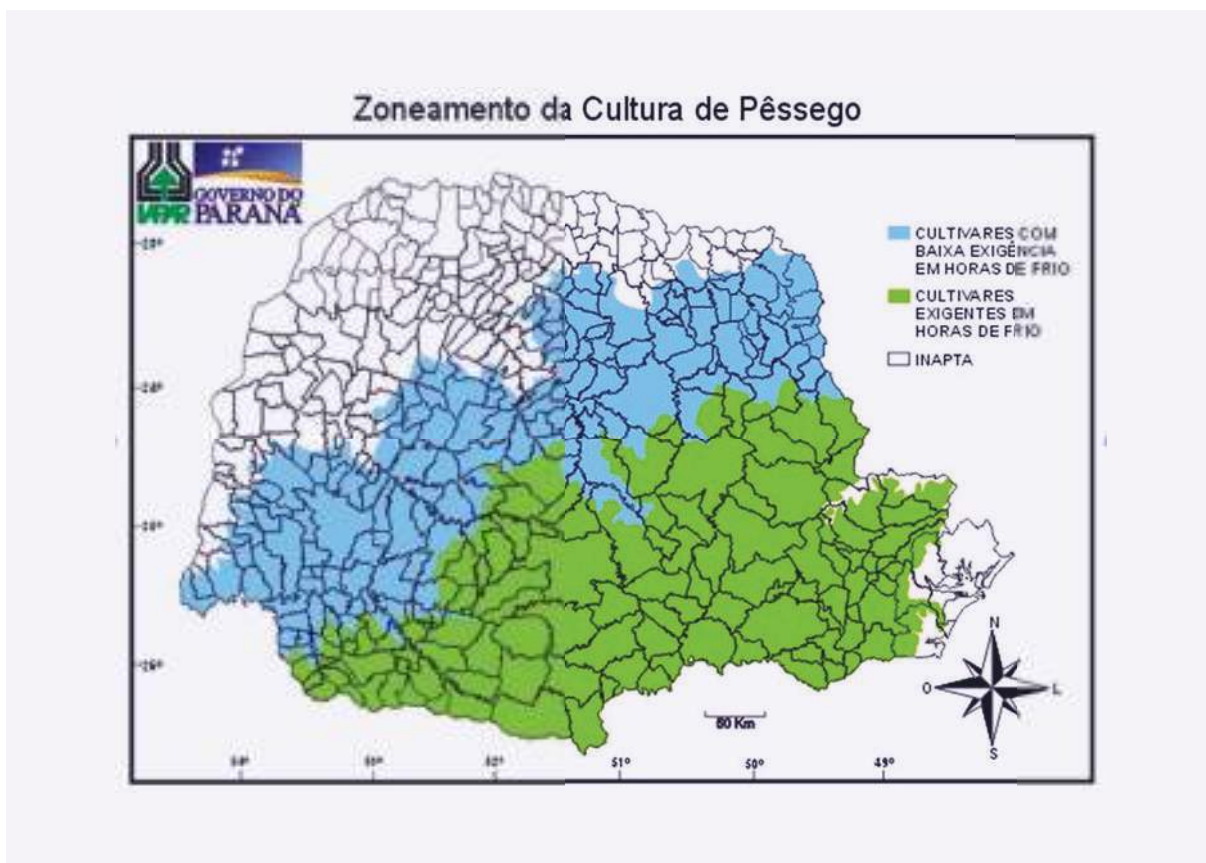


Figura 1. Zoneamento agroclimático para a cultura do pêssego, no Estado do Paraná. Fonte: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1087>.

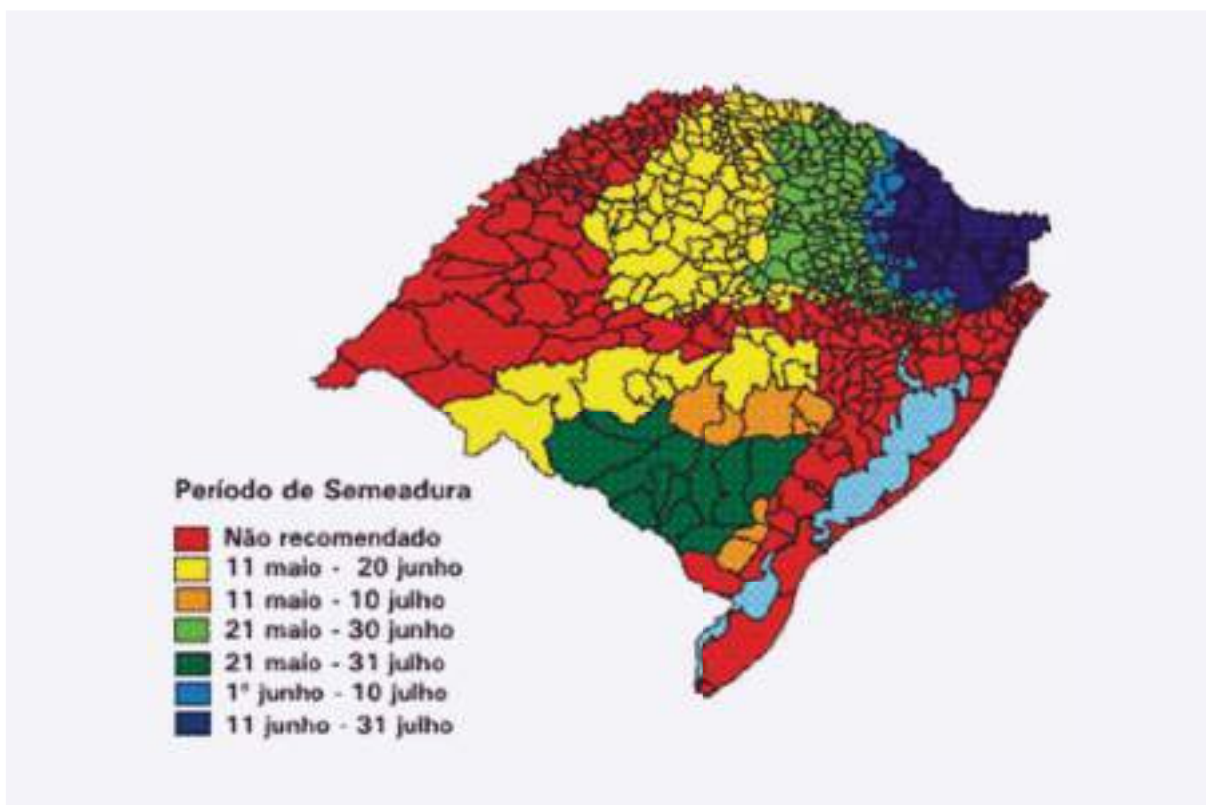


Figura 2. Zonemaneto agroclimático das melhores épocas de sementeira da cultura da cevada cervejeira, no Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cevada/CultivodeCevada\\_2ed/regionalizacao.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cevada/CultivodeCevada_2ed/regionalizacao.htm).



Figura 3. Zoneamento agroclimático de risco para a cultura do feijão, no Estado de Goiás, para a semeadura entre 11 e 20 de janeiro. Fonte: <http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/zoneamento/index.htm>.

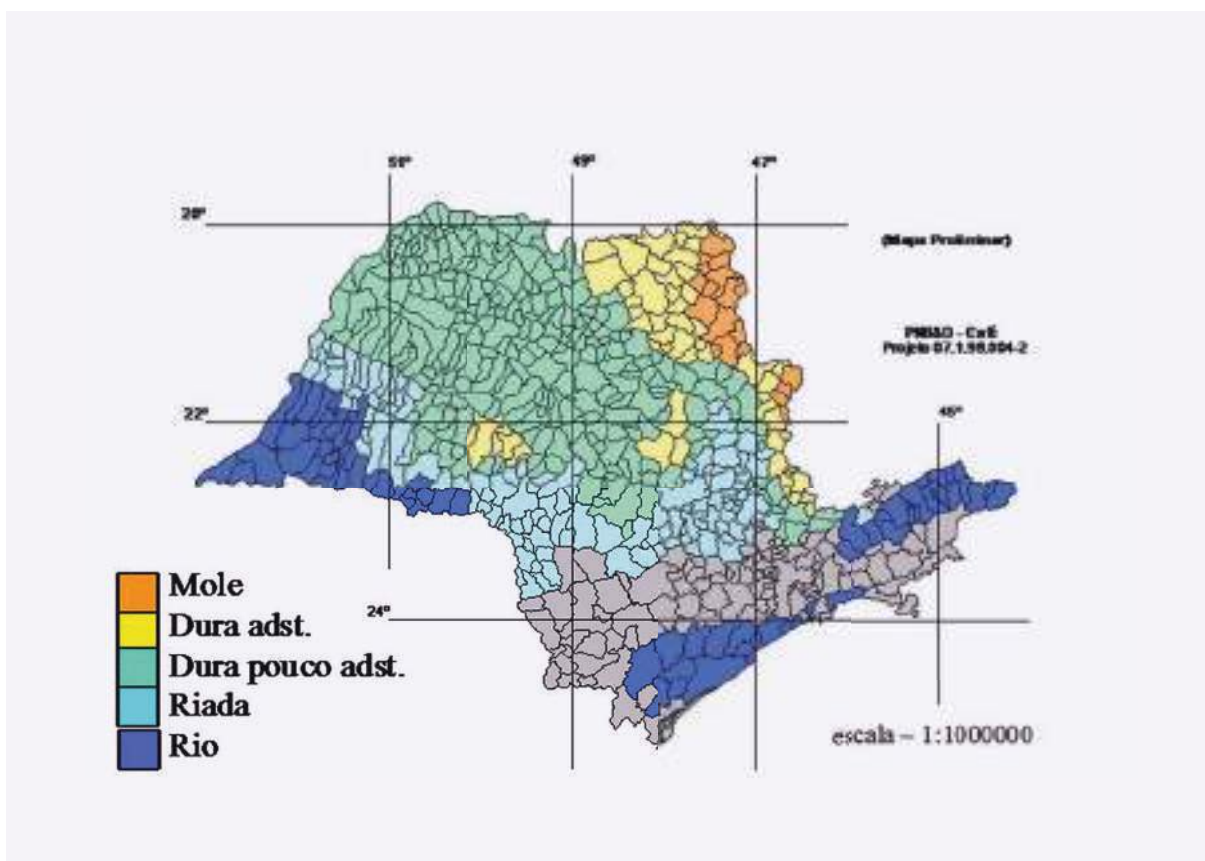


Figura 4. Zoneamento agroclimático da qualidade da bebida do café, no Estado de São Paulo. Fonte: Ortolani (2001).

Além do zoneamento agroclimático, as informações agrometeorológicas assumem também papel importante no planejamento da agricultura irrigada, sendo o balanço hídrico climatológico a principal informação a ser considerada (PEREIRA et al., 2002). Assim, identificando-se os períodos com excedente hídrico e deficiência hídrica e suas respectivas intensidades (Figura 5), define-se o tipo de sistema de cultivo a ser empregado, sequeiro ou irrigado, e o período em que cada um deles deve ser conduzido.

Quando as necessidades hídricas específicas da cultura, representadas pelo coeficiente de cultivo (Kc), são consideradas, o balanço hídrico climatológico passa a ser denominado de balanço hídrico de cultura, sendo neste caso considerado o balanço entre a chuva e a evapotranspiração máxima da cultura (ETc). Quando empregado dessa forma, o balanço hídrico possibilitará estabelecer, em termos médios, a lâmina de água a ser aplicada, o turno de rega e o número médio de irrigações, informações que auxiliarão no dimensionamento dos equipamentos de irrigação e posterior manejo.

Apesar de o zoneamento agroclimático ser uma ferramenta importante no planejamento agrícola, em macroescala, tal recurso não considera as variações provocadas pelo relevo. Dentro de uma mesma região ou macroclima, podem existir diferentes condições topoclimáticas, estabelecidas em função do relevo local (PEREIRA et al., 2002 e MAVI e TUPPER, 2004). Em muitos casos, faz-se necessário que o planejamento agrícola também seja realizado de acordo com o topoclima, ou seja, considerando as posições do relevo da propriedade agrícola. Nessa escala, a configuração e a exposição do terreno irão induzir a diferenças térmicas e de exposição à radiação solar. Um exemplo típico do efeito do relevo é o acúmulo de ar frio em certas posições do terreno. Em regiões sujeitas às geadas (latitude  $\geq 20^{\circ}\text{S}$ ), deve-se evitar o cultivo de lavouras perenes nas áreas de baixada, nos terrenos planos e nas faces voltadas para o sul, com menor exposição aos raios solares, onde as temperaturas são mais baixas.

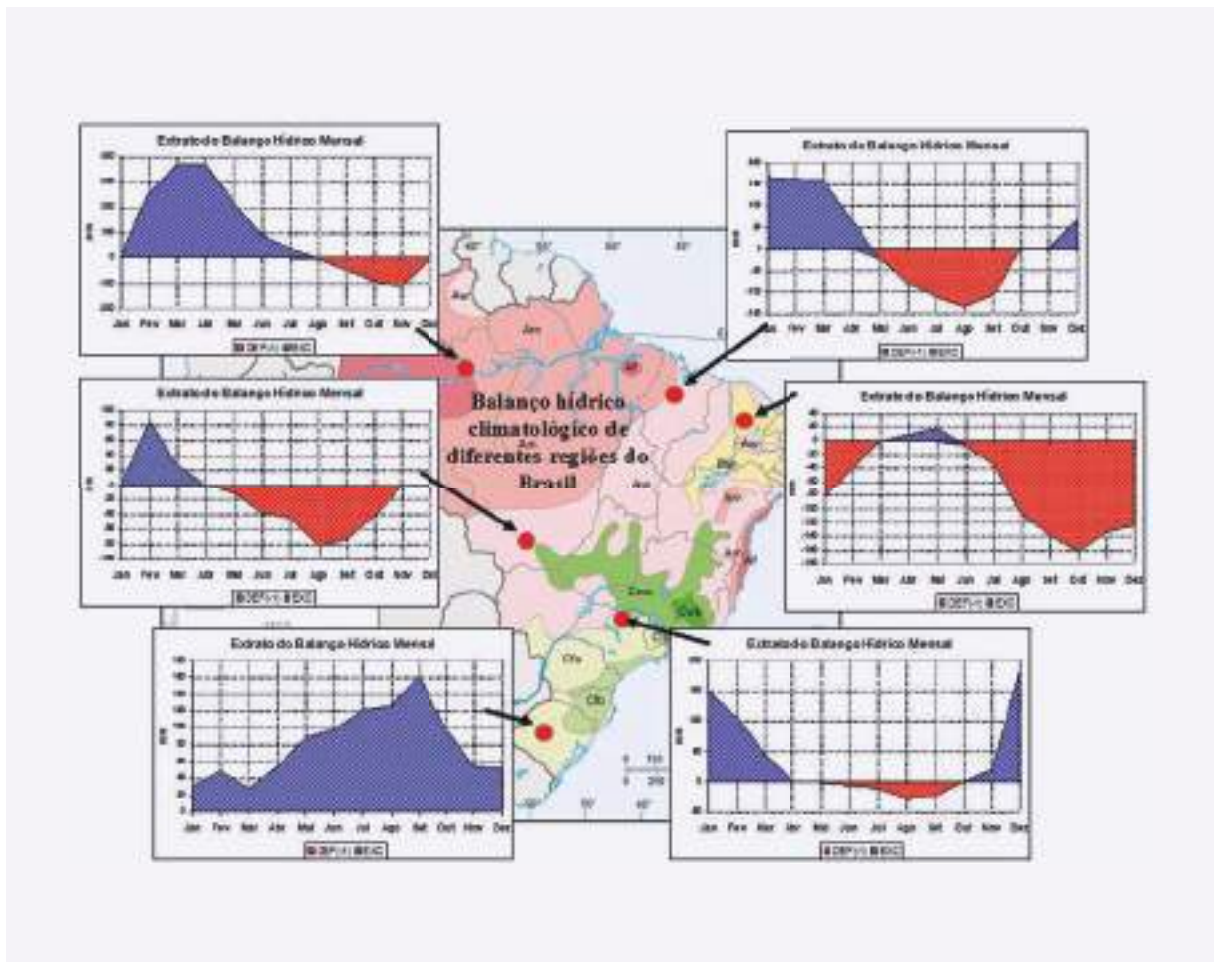


Figura 5. Extrato do balanço hídrico climatológico normal, em diversas localidades brasileiras, em que DEF (\*-1) corresponde à deficiência hídrica, e EXC ao excedente hídrico. Fonte: Sentelhas et al. (1999).



### 3.2 Tomada de Decisão na Agricultura

Tomada de decisão, segundo Oliveira (2004), é a conversão das informações disponíveis em ação, ou seja, decisão é a ação tomada com base na apreciação de informações. Decidir é recomendar entre os vários caminhos alternativos que levam a determinado resultado. Na produção agrícola, trata-se das ações a serem realizadas durante o ciclo das culturas, nos momentos mais favoráveis, de modo a maximizar a produtividade e, ou, melhorar o aproveitamento de insumos. De acordo com Peche Filho (2009), não há dúvidas quanto à importância do processo de tomada de decisões na moderna administração, principalmente naquelas empresas que utilizam a filosofia da qualidade total. Na agricultura não é diferente. Sendo assim, tomar decisões corretas representa eficiência e competitividade.

Em termos agrometeorológicos, a tomada de decisão é feita de acordo com as condições do tempo e a disponibilidade de água no solo. Além disso, as informações da previsão do tempo podem ser utilizadas para antecipar decisões e obter resultados ainda melhores. Para que o resultado de uma decisão seja o melhor, as informações sobre a resposta das culturas às condições do tempo e clima devem ser precisas e realistas, inclusive sobre sua fenologia e práticas de manejo necessárias. É por isso que, de acordo com Mavi e Tupper (2004), a tomada de decisão, com base nas condições meteorológicas, tem por objetivo criar flexibilidade nos sistemas agrícolas, ou seja, avaliar quais as opções adequadas para cada caso, frente à grande variabilidade das condições climáticas. Isso se dá tanto em termos de produtividade da cultura quanto de eficácia na realização das práticas agrícolas.

Existem várias práticas agrícolas que podem se beneficiar do uso eficiente das informações agrometeorológicas, destacando-se: o preparo do solo, a semeadura, a adubação, a irrigação, o controle fitossanitário, a colheita, etc (RIJKS E BARADAS, 2000). As estimativas da produtividade e da qualidade da produção, assim como da ocorrência de doenças, também assumem papel importantíssimo no processo de tomada de decisão.

Para que os agricultores tomem decisões precisas com base no tempo, há necessidade de que os dados meteorológicos sejam transformados em informações agrometeorológicas úteis, que possam ser disseminadas de tal forma que os usuários finais possam extrair delas o máximo benefício possível, no contexto de suas atividades (WEISS et al., 2000).

Serviços dessa natureza são normalmente prestados por órgãos governamentais, constituindo os Sistemas de Informações Agrometeorológicas (SISMAs). Atualmente, o Brasil conta com diversos SISMAs em operação, disponibilizando, basicamente, as informações de primeiro grau e algumas de segundo grau. Os mais conhecidos são o Sistema AGRITEMPO/EMBRAPA, que tem abrangência nacional, o Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas, do Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO/IAC), no Estado de São Paulo, o Sistema de Informações Agrometeorológicas do IAPAR, no Estado do Paraná, dentre outros. Nestes sistemas, as informações agrometeorológicas são divulgadas semanalmente, contemplando os elementos meteorológicos e o balanço hídrico, que auxiliam na previsão de safra e na indicação das condições para manejo do solo, bem como para irrigação e controle fitossanitário. Apesar da importância destes sistemas, ainda existe uma carência muito grande de sistemas mais específicos que contemplem as mais diversas culturas e que auxiliem os agricultores mais efetivamente em suas tomadas de decisão. Para que os SISMAs sejam mais efetivos, é indispensável conhecer a influência de cada variável meteorológica na produtividade de cada cultura, considerando os aspectos de importância para cada espécie, em suas diferentes fases fenológicas.

### 3.3 Resiliência nos Sistemas Agrícolas

Resiliência é um conceito da física, utilizado primeiramente pela engenharia, que se refere à capacidade de um material sofrer tensão e recuperar seu estado normal, quando suspenso o “estado de risco”.

Na agricultura, o conceito foi adaptado, referindo-se à capacidade e habilidade dos sistemas agrícolas em enfrentar e superar condições adversas, como clima desfavorável, epidemias (pragas e doenças), oscilações de mercados e de custos de produção (MAVI E TUPPER, 2004).

Em termos agrometeorológicos, a resiliência depende da adoção de estratégias que reduzam os efeitos adversos do clima nas culturas, como secas, geadas, altas temperaturas, ventos intensos, etc. Sendo assim, as informações relativas aos efeitos do tempo e do clima nas culturas são cruciais para a definição das melhores estratégias de ação.

Nesse sentido, as estratégias mais utilizadas e seus respectivos efeitos são as seguintes:

- a) Diversificação de culturas, cultivares e datas de semeadura – reduz a exposição das culturas às condições meteorológicas adversas, em fases fenológicas críticas, tal como florescimento e enchimento dos grãos;
- b) Escolha de cultivares ou variedades – variedades e cultivares de uma mesma espécie apresentam diferentes suscetibilidades aos eventos meteorológicos adversos;
- c) Definição da densidade populacional da cultura – em condições de clima adverso, como seca, uma menor densidade populacional resulta em menor competição intraespecífica;
- d) Utilização do cultivo mínimo ou do plantio direto – reduz a evaporação da água do solo, resultando em melhor uso da água pelas culturas, dando mais flexibilidade para o escalonamento das semeaduras;
- e) Preparo do solo em profundidade – favorece o crescimento do sistema radicular das culturas, permitindo explorar um volume maior do solo, tendo uma maior disponibilidade de água;
- f) Correção das deficiências nutricionais e controle integrado de pragas e doenças – melhoram o vigor das culturas, permitindo maior tolerância às condições meteorológicas adversas;
- g) Uso de quebra-ventos – reduz a evapotranspiração das plantas, melhorando a eficiência do uso da água, além de reduzir o potencial de danos mecânicos à cultura;
- h) Uso da irrigação – reduz o estresse hídrico e favorece a estabilidade da produção agrícola. Deve ser empregada especialmente nos períodos mais críticos das culturas, como no estabelecimento, florescimento e frutificação;
- i) Uso de telados e coberturas plásticas – reduz os danos causados pela ocorrência de granizo;
- j) Uso de medidas de controle das geadas (arborização, ventilação, irrigação, aquecimento, nebulização, etc) – minimiza os danos, em anos com geadas mais intensas;
- k) Alocação de culturas e cultivares adequados a diferentes posições do relevo – alocar espécies e cultivares mais resistentes ao vento nos locais de maior altitude e, os menos sensíveis à geada, nas regiões de baixada;
- l) Utilização de reguladores de crescimento vegetal – permite inibir, acelerar, retardar ou uniformizar o crescimento vegetativo, o radicular e o florescimento, segundo as necessidades.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto, pode-se concluir que o conhecimento da agrometeorologia dos cultivos é essencial para a geração de informações meteorológicas e climatológicas adequadas às particularidades das diferentes culturas. Tais informações aplicadas ao planejamento, ao processo de tomada de decisão e ao aumento da resiliência da produção possibilitam uma agricultura mais eficiente, mais produtiva, com menor risco de perdas e maior sustentabilidade.

Nesse contexto, os Serviços Nacionais de Meteorologia são essenciais, não apenas como fornecedores de dados meteorológicos ou de previsões do tempo e do clima, mas também como geradores de produtos agrometeorológicos específicos para cada tipo de cultura, valendo-se, para isso, dos Sistemas de Informações Agrometeorológicas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R.R.; PEDRO JR., M.J.; CAMARGO, M.B.P.; et al. **Zoneamento agroclimático e probabilidade de atendimento hídrico para as culturas de soja, milho, arroz de sequeiro e feijão no Estado de São Paulo**. Campinas, IAC, 1995. 8p. (Boletim Científico, 37).
- CAMARGO, A.P.; PINTO, H.S.; PEDRO JR., M.J.; et al. Aptidão climática de culturas agrícolas: In: São Paulo – Secretaria da Agricultura. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, SA-SP, 1974, V.1, p.109-149.
- CAMARGO, A.P.; ALFONSI, R.R.; PINTO, H.S.; CHIARINI, J.V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas de cerrado. In: Simpósio sobre o Cerrado, 6. São Paulo, Ed. da USP, 1977. p.89-105.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO - Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p. (Traduzido por Gheyi, H.R. et al. - UFPB).
- FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker. 1992. 274 p.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9, 415-421, 2001.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 137-157, 2000.
- MAVI, H.S.; TUPPER, G.J. **Agrometeorology – Principles and application of climate studies in agriculture**. New York: Food Products Press. 2004. 364p.
- OLIVEIRA, D. P. R. **Sistemas de informações gerenciais: estratégias e táticas operacionais**. 9 ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- ORTOLANI, A.A. Agrometeorologia e cultivo da seringueira. In: Fundação Cargill – Simpósio sobre a cultura da seringueira. Campinas: Fundação Cargill. p.11-32. 1986.
- ORTOLANI, A.A. Regionalização da época de maturação e qualidade de bebida de café arábica no estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p.53-54.
- PECHE FILHO, A. A tomada de decisão na escolha de sistemas de preparo do solo. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/decisao/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/decisao/Index.htm)>. Acesso em: 4/5/2009.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478p.
- PETR, J. **Weather and yield**. Amsterdam: Elsevier. 1991. 288p.
- RIJKS, D.; BARADAS, M.W. The clients for agrometeorological information. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 27-42, 2000.
- ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 9, 377-385, 2001.
- SENTELHAS, P.C.; PIZA JR., C.T.; ALFONSI, R.R.; KAVATI, R.; SOARES, N.B. Zoneamento climático da época de maturação do abacate no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 3, 133-140, 1995.
- SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. **Balances hídricos climatológicos do Brasil**. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. CD-ROM. 1999.
- SENTELHAS, P.C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. Piracicaba: ESALQ/USP (Tese de Livre-Docência). 2004. 161p.
- SIVAKUMAR, M.V.K.; GOMMES, R.; BAIER, W. Agrometeorology and sustainable agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 11-26, 2000.
- WEISS, A.; VAN CROWDER, L.; BERNARDI, M. Communicating agrometeorological information to farming communities. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 185-196, 2000.
- WMO. GAMP – Guide for Agricultural Meteorological Practices. Disponível em: <<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/gamp-en.html>>. Acesso em: 4/5/2009.

*PARTE II*

# **CULTIVOS TEMPORÁRIOS**



# ABACAXI

*Foto: Keenan Milligan*





## 1. INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) é uma planta monocotiledônea, herbácea, perene, da família *Bromeliaceae*, cujas espécies podem ser divididas em dois grupos distintos, de acordo com os seus hábitos de crescimento: as epífitas, que crescem sobre outras plantas, e as terrestres, que crescem no solo, às expensas de suas próprias raízes. O abacaxizeiro pertence ao segundo grupo, mais precisamente ao gênero *Ananas*, mesmo apresentando algumas características das epífitas, como a capacidade de armazenar água em um tecido de suas folhas e, também, na axila das mesmas (Collins, 1960). Trata-se de uma planta cultivada em regiões tropicais e subtropicais, que apresenta um padrão fotossintético complexo, envolvendo características das espécies C3 e C4. Apresenta, ainda, de modo alternativo, o metabolismo ácido das plantas crassuláceas (MAC), das quais é o representante mais importante. De acordo com Malézieux et al. (2003), o abacaxizeiro é, obrigatoriamente, uma planta MAC.

A família *Bromeliaceae* consta de cerca de 2.800 espécies, distribuídas em três subfamílias, *Tillandsioideae*, *Pitcairnioideae* e *Bromelioideae*, e 56 gêneros. Todas são americanas, com exceção de *Pitcairnia felicianae* (Aug. Chev.) Harms & Mildbr., nativa da Guiné. A maioria é encontrada sob condições naturais, em regiões tropicais e subtropicais e, apenas algumas poucas, em zonas temperadas (Coppens d'Eeckenbrugge & Leal, 2003). A espécie *Ananas comosus* var. *comosus* é a que tem maior importância econômica, enquanto outras espécies apresentam valor ornamental e, ainda outras, produzem fibras de excelente qualidade para cordoaria e fabricação de tecidos (Collins, 1960).

A área de produção de abacaxi – segunda fruteira tropical mais cultivada no país – quase dobrou nas últimas três décadas. Hoje, segundo o IBGE (2008), esta área acha-se em torno de 62 mil hectares, distribuídos entre todos os Estados da Federação. Ademais, em termos de valor da produção, o abacaxi é a quarta fruta, alcançando, em 2005, R\$ 814 milhões, atrás apenas da laranja, banana e uva. O Brasil foi sempre um dos grandes produtores mundiais de abacaxi, atualmente, o segundo maior produtor.

O consumo domiciliar *per capita* de abacaxi, de acordo com dados do IBGE (2008), decresceu 17% entre 1996 e 2003. Se, por um lado, houve queda no consumo doméstico, por outro, houve um acréscimo de 70% no suprimento *per capita* de abacaxi, no mesmo período. Isso, com certeza, em função do aumento do consumo de abacaxi sob a forma de sucos, doces e conservas, além do consumo extra-domiciliar (MAPA/CGPCP/DCAAP, 2007). De acordo com o Instituto Brasileiro de Frutas – IBRAF (2007), cerca de 21% do abacaxi produzido no Brasil estão sendo industrializados, e o mercado de abacaxi, minimamente processado, está em plena expansão.

### 1.1 Fenologia e Desenvolvimento

O abacaxizeiro possui um caule ou talo curto e grosso, circundado por folhas estreitas e semi-rígidas, em forma de canaleta, ao qual se acham inseridas, também, raízes axilares. Esta planta produz apenas um fruto em cada ciclo, que se desenvolve a partir de uma inflorescência terminal.

O ciclo natural para produzir o primeiro fruto varia, em geral, de 16 a 24 meses, dependendo de a cultivar, das condições climatológicas (Malézieux et al., 2003) e do manejo da planta. Raramente esse

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa s/n, C.P. 007, CEP 44380-000, Cruz das Almas - BA. E-mail: gapcunha@hotmail.com.

2- Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesquisador, EMBRAPA – Mandioca e Frut. Tropical. E-mail: dharoldo@cnpmf.embrapa.br

3- Eng. Civil, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Mandioca e Frut. Tropical. E-mail: otavio@cnpmf.embrapa.br

4- Eng. Agrônomo, Mestre, Pesquisador, EMBRAPA – Mandioca e Frut. Tropical. E-mail: lfranc@cnpmf.embrapa.br



ciclo é inferior a 12 meses, podendo atingir até 36 meses. Quanto mais fria a região, mais longo é o ciclo.

De acordo com Cunha (1998), tal ciclo pode ser dividido em três etapas:

- a) fase vegetativa, que pode durar de oito a 12 meses, abrangendo o período do plantio à diferenciação floral;
- b) fase reprodutiva, podendo durar de quatro a seis meses, envolvendo a floração e a frutificação, indo da diferenciação floral à colheita do fruto;
- c) fase propagativa, podendo durar de seis a dez meses, tendo início ainda na fase reprodutiva, mas prolongando-se após a colheita do fruto, abrangendo o desenvolvimento ou ceva e a colheita das mudas.

Dessas fases, a que apresenta menor elasticidade é a reprodutiva, quer seja desencadeada de modo natural ou artificial. No abacaxizeiro, um único meristema dá origem às folhas durante a fase vegetativa e, às flores, no início da fase reprodutiva, retomando, posteriormente, o caráter vegetativo, formando a coroa do fruto (Clark & Kerns, 1942).

Durante o estágio de florescimento e, ou, frutificação, o abacaxizeiro produz alguns rebentos ou mudas originadas de gemas axilares, que são usados para multiplicação da planta e para produção de outros frutos, a partir da soca e, ou, de novos plantios. A planta adulta mede de 1,00 a 1,20 m de altura e, de 1,30 a , 50 m de diâmetro.

### **Raízes**

O sistema radicular do abacaxizeiro é compacto, fasciculado, fibroso e superficial, com a maioria das raízes (80% a 90%) nos primeiros 15 a 25 cm do solo (profundidade efetiva). Esta profundidade pode ser um pouco maior ou menor, em função da textura (argilosa ou arenosa) e a umidade do solo; algumas delas podem atingir até 40 cm de profundidade, porém, raramente acima de 60 cm (Py, 1969). De acordo com Krauss (1948c), o comprimento das raízes pode chegar até dois metros, mas não alcançam mais de 85 cm de profundidade e, assim mesmo, raramente. As raízes do abacaxizeiro são sensíveis à compactação do solo, o que em geral restringe sua distribuição à área arada (Rafailac et al., 1978 e Ikan, 1990, citados por Malézieux et al., 2003).

As raízes do abacaxizeiro são todas adventícias, o que é frequente nas plantas monocotiledôneas, podendo ser encontradas em três zonas do caule: a) na base, a cerca de cinco centímetros, onde as raízes penetram no solo; b) na zona mediana, onde as raízes são suberizadas e enrolam-se no caule, mas, em geral, não penetram no solo; eventualmente quando isto acontece, são denominadas de secundárias; c) na zona superior, onde as raízes são bastante curtas e, também, suberizadas, porém não se enrolando no caule.

Por causa de sua superficialidade, as raízes dão pouca sustentação às plantas, o que as torna bastante suscetíveis ao tombamento (Hayes, 1957), sobretudo durante o desenvolvimento do fruto. Quando se considera o tamanho da parte aérea da planta (caule, folhas) e do fruto produzido, o pequeno sistema radicular é uma peculiaridade notável do abacaxizeiro.

### **Caule**

O caule do abacaxizeiro é fibroso e armazena metabólitos da fotossíntese, contendo reservas de amido. Desenvolve-se a partir do âmago semi-elipsoidal da muda usada no plantio e, à medida que as novas folhas são formadas pelo seu meristema apical, o caule alonga-se e engrossa. Quando completamente desenvolvido, apresenta-se curto e grosso, com 20 a 50 cm de comprimento, e diâmetros de 2,0 a 5,0 cm, na parte basal e, de 5,5 a 8,0 cm, na parte mais larga, logo abaixo do ápice (Collins, 1960; Py et al., 1984; Coppens d'Eeckenbrugge & Leal, 2003), podendo pesar de 400 a 1.000 g. A constituição fibrosa do caule dificulta a destruição mecânica dos restos da cultura.

Ramos, rebentos laterais ou mudas

O abacaxizeiro é propagado de forma vegetativa por meio de diferentes tipos de mudas, denominadas de filhotes, filhotes-rebentões, rebentões e coroa. Tais estruturas, que se desenvolvem a partir de

gemas axilares, constituem ramos vegetativos com um novo meristema apical. O desenvolvimento das gemas que dão origem às mudas começa apenas quando cessa a dominância do meristema apical, o que ocorre no momento da diferenciação floral. Isso explica a influência das condições climatológicas, do nível de crescimento das plantas e do fitorregulador usado na indução do florescimento sobre o número de mudas produzidas por planta.

Os rebentões são ramos foliáceos que se desenvolvem de gemas encontradas, principalmente, na parte basal ou subterrânea do caule. Os filhotes-rebentões são ramos foliáceos que surgem de gemas encontradas na zona de transição do caule com o pedúnculo e, os filhotes, são ramos foliáceos que se desenvolvem a partir de gemas axilares de folhas modificadas do pedúnculo, logo abaixo do fruto (Collins, 1960; Purseglove, 1972).

## Folhas

As folhas do abacaxizeiro são semirrígidas, em consequência de seu formato, serosas na face superior, e protegidas por uma camada de pelos (os tricomas), encontrada, sobretudo, na face inferior, que reduz a transpiração. Correspondem a cerca de 90% da massa verde da planta e levam cerca de quatro meses para atingir o pleno desenvolvimento (Malézieux et al., 2003). Este período pode se alongar em ecossistemas mais frios.

A área foliar total de uma planta, com 3,6 kg de massa verde, pode atingir 2,2 m<sup>2</sup> (Py, 1959a). As folhas são arranjadas de tal forma que pouca água da chuva escorre para o solo e, por serem ligeiramente côncavas, a água é conduzida até sua base, o mesmo acontecendo com o orvalho (Johnson, 1935; Hayes, 1957). Isso aumenta, de modo significativo, a economia de água da planta e permite, ainda, um melhor aproveitamento da água de irrigação e das pulverizações foliares de defensivos e adubos. Sob condições normais, um abacaxizeiro emite de três a nove folhas por mês, dependendo de sua idade ou estágio de crescimento.

A epiderme superior é formada por uma única camada de células, altamente cutinizadas, caracterizadas pelas paredes laterais onduladas e com maior diâmetro perpendicular ao eixo da folha (Krauss, 1948a; Collins, 1960; Py, 1969). Essas paredes onduladas tornam as células epidérmicas rígidas, protegendo-as contra estresses hídricos resultantes do colapso do tecido aquífero sub-epidérmico (Nightingale, 1942; Sanford, 1962), sendo uma característica bastante singular do abacaxizeiro. A epiderme da folha, que é revestida por uma cutícula lisa e uniforme, possui, internamente, além do tecido aquífero, o mesófilo, com cloroplastos, onde a fotossíntese é ativa; além de feixes vasculares; cordões fibrosos isolados e canais de aeração (Krauss, 1948b; Py, 1969). Logo abaixo da epiderme encontra-se a camada hipodérmica que, juntamente com as células de paredes espessas da epiderme, protege a planta contra a perda de água, a exemplo das demais xerófilas (Krauss, 1948b). Observou-se que as células da hipoderme apresentam pigmentos de antocianina (Johnson, 1935), encontrados em muitas variedades de abacaxi, supondo-se que atuem como um sistema de proteção contra a luminosidade excessiva (Bartholomew & Kadzimin, 1977).

No caso de se desejar estabelecer a massa foliar da planta, sob determinadas condições, isso pode ser feito por meio do cálculo da massa foliar teórica (MFT). Tal cálculo baseia-se na massa da folha D e no ritmo de surgimento de folhas na roseta da planta (Py & Lossois, 1962). A fórmula é a seguinte:  $MFT = NF_{0/2} + (FD_4 \times NF_{2/4}) + (FD_6 \times NF_{4/6}) + (FD_8 \times NF_{6/8}) + (FD_n \times NF_{n'/n''})$ , onde  $NF_{0/2}$  corresponde ao número de folhas formadas entre o plantio e dois meses depois;  $FD_4$  é a massa da folha D quatro meses após o plantio;  $NF_{2/4}$  é o número de folhas formadas entre o segundo e o quarto mês após o plantio e, assim, sucessivamente, até o n-ésimo mês de indução da floração.

## Estômatos

A epiderme inferior da folha apresenta, longitudinalmente, uma série de sulcos pequenos e paralelos, no fundo dos quais se encontram os estômatos (Collins, 1960; Py et al., 1987), arrumados de modo desuniforme e em número comparativamente pequeno, isto é, em torno de 70 a 85 mm<sup>-2</sup> de

folha completamente madura (Krauss, 1948b; Py et al., 1987). A abertura ou ostíolo dos estômatos fica paralelo ao maior eixo da folha, cujos sulcos são completamente encobertos pelos tricomas. O número de estômatos varia de folha para folha, talvez pela influência do estágio de crescimento da planta (Bartholomew & Kadzimin, 1977). O estômato apresenta uma estrutura pequena, com dimensões médias de 26,5 µm de largura e 24,6 µm de comprimento, com uma pequena abertura de 7 a 8 µm (Bartholomew, 1975, citado por Bartholomew & Kadzimin, 1977).

### **Tricomas**

Os tricomas são projeções da epiderme, encontrados em pequenas cavidades, em ambas as faces da folha, sobretudo na inferior, à qual confere uma textura macia e cor prateada (Collins, 1960). São numerosos na base da folha e absorvem água e soluções nutritivas e, ainda, protegem a planta contra a perda de água e excesso de luminosidade, por formarem uma cortina densa sobre a abertura dos estômatos e por alguns deles serem constituídos de células mortas (Krauss, 1948b; Collins, 1960; Py et al., 1987; Bartholomew & Kadzimin, 1977).

### **Tecido aquífero**

Trata-se de um tecido incolor e translúcido, que contrasta com o mesófilo clorofilado da folha (Krauss, 1949), e representa uma das características anatômico-fisiológicas mais marcantes do abacaxizeiro. Sua função mais importante é servir como reservatório de água, para suprir a planta em ocasiões críticas de deficiência hídrica. O tecido aquífero ocupa de 1/4 a 2/3 da seção mediana da folha, o que pode ser visto por meio de um corte transversal e, em geral, não é encontrado na extremidade da folha (Bartholomew & Kadzimin, 1977).

A quantidade de água armazenada no tecido aquífero pode variar em função da idade e do sombreamento da planta, da densidade de plantio, da temperatura e da demanda evaporativa da atmosfera (Nightingale, 1942; Krauss, 1949). De acordo com Black (1962), essa diferença na quantidade de água armazenada pode ser responsável pela ampla variação na relação água/matéria seca da folha, ao longo do ciclo da cultura.

Outras funções atribuídas ao tecido aquífero são: a) proteger os tecidos assimiladores adjacentes contra excesso de luz, sob condição de alta radiação solar; b) tornar as folhas mais resistentes, em função da turgidez de suas células (Bartholomew & Kadzimin, 1977); e c) avaliar a necessidade de água pelo abacaxizeiro (Van Lelyveld, citado por Green, 1963; Medcalf, 1982), cujo processo consiste no exame visual do tecido aquífero após o corte transversal da folha 'D', a 1/3 de distância da sua base. A maior ou menor espessura do tecido aquífero indica a necessidade de irrigação. Medcalf (1982) recomenda uma relação de 1:2 entre a espessura desse tecido translúcido e a espessura dos tecidos verdes da folha, para plantas em fase de crescimento vegetativo e, uma relação 1:1, para plantas na fase reprodutiva.

### **Espinhos**

As folhas do abacaxizeiro são muito fibrosas, tendo um espinho afiado na extremidade, podendo apresentar bordos serrilhados ou espinhosos, o que permite que sejam classificadas em espinhosas, semi-inermes, inermes e com espinhos apenas nas extremidades, a exemplo da cultivar Smooth Cayenne (Johnson, 1935).

### **Pedúnculo**

O pedúnculo é um talo que se desenvolve a partir do meristema apical e que conecta a inflorescência e, posteriormente, o fruto com o caule, do qual é um prolongamento. O pedúnculo cresce depois da formação da inflorescência, e seu comprimento varia em função da cultivar. No pedúnculo, gemas axilares

latentes de algumas folhas modificadas, encontradas logo abaixo da inflorescência, desenvolvem-se em ramos laterais, denominados de filhotes, que são usados como material propagativo.

### **Inflorescência e flor, Infrutescência e fruto individual**

Quando a planta atinge a maturidade no seu desenvolvimento, a inflorescência avermelhada, tipo espiga, emerge no centro da roseta foliar, cerca de cinco a sete semanas após a diferenciação floral, tornando-se, de forma gradual, cada vez mais proeminente sobre o pedúnculo (Hayes, 1957; Matos & Sanches, 1989). Na inflorescência, cada 'olho' representa uma flor individual completa, que se desenvolverá em um fruto tipo baga (Johnson, 1935; Hayes, 1957).

As flores da inflorescência do abacaxizeiro não se abrem ou amadurecem ao mesmo tempo, e a floração procede de modo espiral para cima, com uma a diversas flores abrindo a cada dia, durante duas a quatro semanas (Sideris & Krauss, 1938; Okimoto, 1948). Em algumas cultivares, porém, a antese ocorre de modo desordenado (Coppens d'Eeckenbrugge & Leal, 2003).

A infrutescência do abacaxizeiro é do tipo 'sorose' ou sincarpo, isto é, um fruto múltiplo, carnoso, formado pela coalescência de frutinhos individuais, tipo baga (Johnson, 1935; Sideris & Krauss, 1938; Collins, 1960). Tais frutinhos ("olhos"), em torno de 100 a 200, se fundem de forma espiralada, em torno de um eixo central, que é a continuação do pedúnculo fibroso, apresentando uma filotaxia 8/21 (Collins, 1960). O fruto individual do abacaxizeiro desenvolve-se, mesmo sem polinização, por ser partenocárpico, e a infrutescência pode apresentar várias formas. O número de frutinhos por fruto é estabelecido no momento da indução floral (Bartholomew et al., 2003) e, daí em diante, o rendimento será determinado pelo crescimento e expansão do fruto.

O processo de maturação do fruto do abacaxizeiro praticamente cessa após a colheita, haja vista que a planta acumula carboidratos nas folhas. Assim, o fruto não dispõe de matéria prima para produzir sólidos solúveis totais (açúcares) nem desenvolver suas características sensoriais adequadas para consumo, depois de colhido. A casca apenas adquire coloração amarela, dando uma falsa indicação de maturação. Daí sua classificação como um fruto não climatérico, possivelmente em função de ser constituído por muitos frutinhos individuais, que se encontram em diferentes estádios de desenvolvimento. Da mesma forma como ocorre com a abertura das flores, a maturação dos frutinhos ou frutos verdadeiros acontece de forma progressiva, da base para o topo.

### **Coroa**

A coroa é a continuação do meristema original do eixo principal ou caule da planta, formando um pequeno ramo, simples ou múltiplo, que pode ter até 150 folhas e pesar de 50 a mais de 500 g. Nas regiões tropicais, o tamanho da coroa tende a ser pequeno, em função do curto intervalo de tempo entre a indução floral e a colheita (Py et al., 1987). A coroa representa um caráter que distingue a espécie *Ananas comosus* var. *comosus* das outras espécies da família Bromeliaceae e, da mesma forma que os demais rebentos, é usada como material de plantio. A coroa continua a crescer até que o fruto atinge a maturação, quando, então, torna-se dormente (Collins, 1960), e apenas retoma seu crescimento quando destacada do fruto, do qual representa de 5% a 40% da massa total (Py, 1969). Próximo da colheita, quando a coroa entra em dormência, seu comprimento, massa e número de folhas atingem os valores máximos (Py et al., 1987).

## **2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLOGICOS DA PRODUTIVIDADE**

A determinação das relações de causa e efeito das condições meteorológicas e a cultura é complexa. Em geral, é feita por meio de avaliação de dados de crescimento da planta (fotossíntese, respiração, abertura estomática, sanidade e produtividade). Ademais, a dissociação dos efeitos desses fatores na natureza é também difícil. Verifica-se que a maioria das espécies vegetais possui dezenas de variedades exploradas com fins comerciais, seguramente como decorrência da busca da melhor

interação entre fatores tão complexos. Entretanto, isso não ocorre com o abacaxizeiro, pois o que se constata é a exploração, quase com exclusividade, de a cultivar Smooth Cayenne em todas as principais regiões produtoras de abacaxi do mundo, ao lado de algumas poucas cultivares locais, sem igual abrangência no mercado internacional.

As regiões localizadas entre os paralelos 25°N e 25°S são consideradas as mais favoráveis ao cultivo econômico do abacaxizeiro (Green, 1963). Estes limites, porém, podem ser estendidos, pois se conhece plantios de abacaxi em regiões situadas a 30°45'N (Assam, na Índia) e 33°58'S (Port Elizabeth, na África do Sul), o que demonstra a alta capacidade de adaptação desta planta ao agroecossistema, desde que submetida a um sistema de cultivo adequado. Tanto é assim que a maioria dos plantios comerciais de abacaxi, em regiões de latitudes mais extremas, é encontrada em áreas costeiras ou próximas à costa e em ilhas, onde os extremos de temperatura e umidade são amenizados pela brisa marinha e, portanto, menos severos que em regiões de clima continental, na mesma latitude (Bartholomew & Kadzimin, 1977; Malézieux et al., 2003).

## 2.1 Disponibilidade hídrica

A precipitação é um elemento climatológico de grande importância para a cultura do abacaxi. A variação na precipitação, nas várias regiões produtoras de abacaxi do mundo, é mais marcante que a observada em relação à temperatura. O abacaxizeiro tanto é cultivado em áreas de precipitação em torno de 500 a 600 mm (África do Sul e Itaberaba/BA, Brasil), quanto em áreas onde essa precipitação atinge 3.078 mm (Costa Rica), ou mesmo, até 4.000 mm (Py et al., 1987).

O abacaxizeiro é tido como uma planta com necessidades hídricas relativamente reduzidas, se comparada com outras plantas cultivadas. Como consequência de sua baixa transpiração e uso eficiente de água (UEA), esta planta mantém um alto índice de área foliar ( $> 7$ ) e bons níveis de produtividade durante longos períodos, mesmo sob condições de baixa precipitação (Ekern, 1965; Malézieux, 1991; Zhang et al., 1997). A sua adaptação a condições de deficiência hídrica decorre de uma série de características morfológicas e fisiológicas, típicas de plantas xerófilas, tais como: a capacidade de armazenar água na hipoderme das folhas, de coletar água com eficiência, inclusive o orvalho, por suas folhas em forma de canaleta, e de reduzir, de forma considerável, as perdas de água (transpiração) por meio de vários mecanismos. Entre eles, destaca-se a redução da carga térmica sobre as folhas, em virtude da alta reflexão da superfície inferior das mesmas, por conta da presença dos tricomas (pelos de cor prateada). Além disso, a distribuição espacial e o porte ereto das folhas permitem, respectivamente, uma ventilação adequada e uma redução no ângulo de incidência dos raios solares. A transpiração é minimizada ainda pelo revestimento da epiderme foliar por uma cutícula espessa, pelo fechamento dos estômatos durante grande parte do dia, pela baixa densidade estomática e pela localização dos estômatos ao longo de sulcos pequenos e paralelos, protegidos por tricomas, na face inferior das folhas.

Segundo Green (1963), embora a maior parte do sistema radicular seja superficial, poucas raízes mais profundas do abacaxizeiro podem fornecer água suficiente para a demanda comparativamente pequena da planta. Pesquisas efetuadas no Havaí mostraram que foram necessários de 50 a 60 mL de água para a produção de um grama de matéria seca pelo abacaxizeiro, em comparação com 200 mL de água demandados pelas plantas mesofíticas para produzir a mesma quantidade de matéria seca (Sideris & Krauss, 1928; Joshi et al., 1965; Neales et al., 1968). No Havaí, foi observado que o consumo de água de uma planta com 4,2 kg, até a diferenciação floral, foi em torno de 60 L (Py et al., 1987). O abacaxizeiro é uma das pouquíssimas plantas que pode ser considerada, sob o ponto de vista fisiológico, como xerófila (Bartholomew & Kadzimin, 1977).

A taxa de transpiração do abacaxizeiro varia entre 0,12 e 0,5 mg de água  $\text{cm}^{-2}$  de área foliar  $\text{h}^{-1}$ , cerca de dez vezes menos que a de plantas mesofíticas (Ekern, 1965; Joshi et al., 1965; Neales et al., 1968; Yoder & Bartholomew, 1969; Py et al., 1987). Isso corresponde a uma transpiração de 0,10 a 0,42 mm  $\text{dia}^{-1}$  em uma plantação com IAF igual a 7. Esta taxa é mais baixa que a da maioria das plantas cultivadas e corresponde a 1/25 a 1/10 da transpiração das plantas mesofíticas (Neales et al., 1968),

o que confere ao abacaxizeiro uma alta eficiência no uso de água. Associe-se a isso o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), de assimilação de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) predominantemente noturna, característica única do abacaxizeiro em comparação com as demais plantas cultivadas em grande escala. Apesar de altamente eficiente quanto ao consumo de água, esse tipo de metabolismo, ao limitar a perda de vapor d'água através dos estômatos, também limita a entrada de  $\text{CO}_2$  por eles, resultando numa taxa de assimilação fotossintética inferior à das plantas mesofíticas, com metabolismo  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$ . O MAC é, portanto, uma adaptação que permite a continuação do crescimento, embora lento, e a sobrevivência do abacaxizeiro em condições de estresse hídrico severo. Porém, nessas condições, resulta numa baixa produtividade da planta.

O abacaxizeiro é, no entanto, uma planta de MAC obrigatório e pode mudar para a fixação fotossintética do tipo  $\text{C}_3$ , quando as condições ecológicas, sobretudo o suprimento hídrico, são favoráveis ao seu desenvolvimento. Assim, para a obtenção de produtividade elevada, é relevante um suprimento hídrico adequado, via irrigação quando necessário, de forma que as plantas não sejam impelidas a acionar o seu principal mecanismo de economia de água, o MAC.

Outro aspecto importante, quanto ao aproveitamento de água pelo abacaxizeiro, é sua arquitetura e a forma côncava de suas folhas, que permitem captar pequenas quantidades de água, até mesmo o orvalho. Esta característica, além de várias outras já mencionadas, permite a sobrevivência do abacaxizeiro sob condições de deficiência hídrica prolongada. No entanto, considerando-se a exploração comercial, que visa à produção de frutos grandes, o abacaxizeiro requer um total de 1.000 a 1.500 mm de chuva anual, bem distribuída (Collins 1960; Teiwes & Gruneberg 1963; Py & Tisseau, 1965). Py et al. (1987) reportaram-se a uma demanda de água equivalente a uma precipitação mensal de 60 mm a 100 mm.

Deve-se considerar, além disso, a influência que a chuva exerce sobre a qualidade do fruto e a ocorrência de pragas. Como se sabe, frutos colhidos em períodos frios e secos são mais coloridos que os colhidos em tempos quentes e úmidos. Tendo em vista que, na maioria das regiões produtoras, as chuvas ocorrem em períodos definidos, apresentando escassez em alguns meses, a irrigação torna-se necessária, apesar de pouco praticada no Brasil. Isso porque, como o abacaxizeiro é uma planta de ciclo comparativamente curto, a falta de água pode limitar seu desenvolvimento e sua produção, sobretudo nos plantios que visam à obtenção de fruto fora da época normal de safra e, ou, durante o ano todo. Alguns autores recomendam o uso da irrigação em áreas com períodos secos definidos, em especial quando se prolongam por mais de três meses consecutivos, e em áreas de precipitação abaixo de 600 mm. Porém, considera-se importante o uso da irrigação suplementar em todos os plantios comerciais, haja vista a irregularidade das chuvas e a necessidade de se garantir a produção de frutos de boa qualidade.

Segundo Neild & Boshell (1976), em áreas com precipitação anual inferior a 500 mm, o abacaxi só deve ser cultivado com irrigação. Mesmo em áreas com precipitação total anual acima deste limite, a irrigação é necessária, se ocorrer um período de três meses consecutivos com chuvas inferiores a 15 mm/mês, ou de quatro meses com menos de 25 mm/mês, ou então, de cinco meses com chuvas inferiores a 40 mm/mês. Souto et al. (1998) e Almeida et al. (1999), em trabalhos realizados, respectivamente, com as cultivares Pérola e Smooth Cayenne, em Jaíba, Norte de Minas Gerais, verificaram que as parcelas irrigadas com cerca de 780 mm durante o ano, mas que recebiam lâminas de água menores que 15 mm durante seis meses, não produziam frutos, ou, os frutos produzidos não tinham valor comercial algum. Em outras parcelas, que receberam 980 mm de água, porém com ocorrência de cinco meses com lâminas menores de 40 mm, as produções foram, respectivamente, 133% e 106% menores que as das parcelas que não tiveram problemas de déficit hídrico.

A necessidade de água do abacaxizeiro varia ao longo do ciclo da planta e, a depender do seu estágio de desenvolvimento e das condições de umidade do solo, a demanda diária de água pode ser de 1,3 mm a 5,0 mm (Pinon, 1978; Medcalf, 1982; Combres, 1983; Py et al., 1987). Em geral, a demanda hídrica da planta aumenta com a idade e o grau de desenvolvimento vegetativo atingido. As necessidades hídricas são, portanto, menores durante o início do ciclo vegetativo. No entanto, o suprimento hídrico é crítico durante os primeiros dois meses após o plantio, fase de emissão de raízes (Combres, 1983;

Du Pressis, 1989), quando um déficit hídrico pode causar desuniformidade no crescimento das plantas, o que é prejudicial ao manejo e ao rendimento da cultura. A partir do segundo mês, as necessidades hídricas crescem de modo contínuo, em razão do desenvolvimento da planta, até atingir o sexto mês após o plantio. A partir daí, o consumo de água é máximo e constante, permanecendo neste patamar até a formação total do fruto, mais ou menos 60 dias antes da colheita, quando o consumo volta a decrescer. Neste período, a planta, sobretudo, a qualidade organoléptica do fruto são bastantes sensíveis ao excesso de água, com um pico de sensibilidade a cerca de um mês da colheita (IRFA, 1984). Nesse caso, aconselha-se a suspensão da irrigação mais ou menos dez dias antes da colheita. Na Figura 1 são apresentados os diferentes estádios de desenvolvimento do abacaxizeiro e seus respectivos valores prováveis do coeficiente de cultivo (Kc), segundo Almeida (2001).

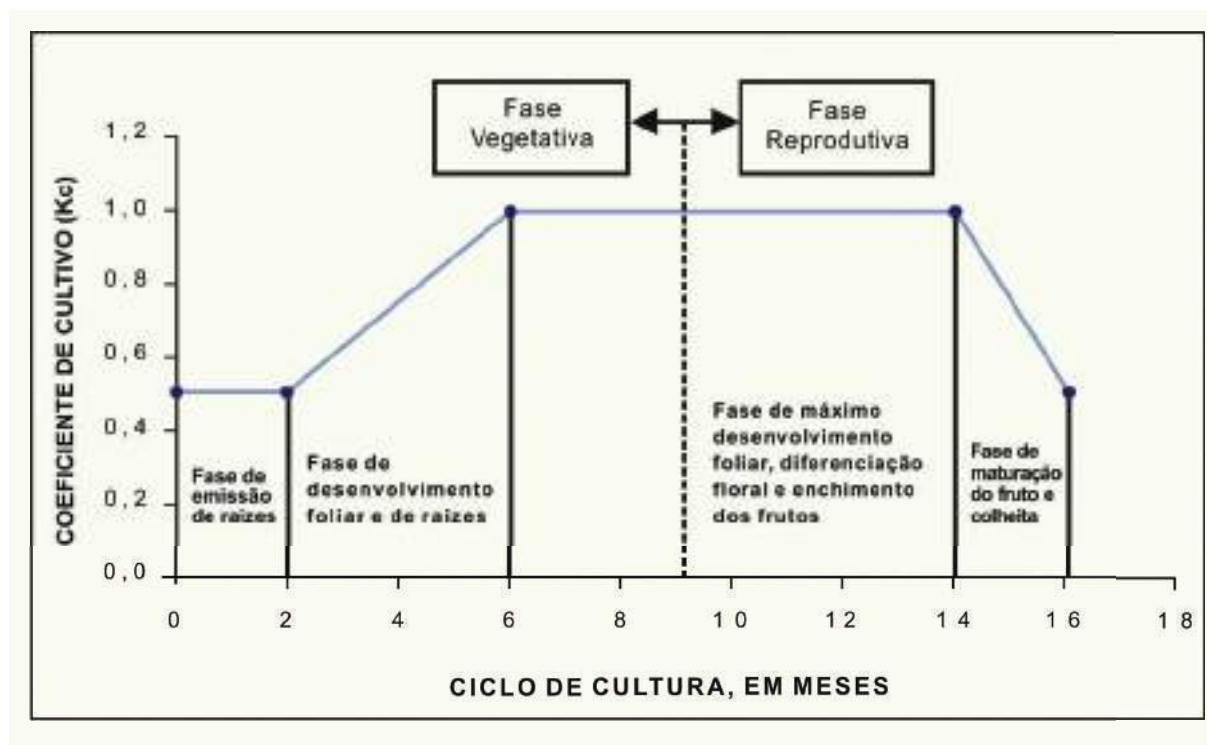


Figura 1. Estádios de desenvolvimento do abacaxizeiro, com prováveis valores do coeficientes de cultura (Kc). (\*) A fase de maturação do fruto e colheita completa-se, mais ou menos, seis meses após o tratamento de indução floral.

Os períodos de diferenciação floral e de “enchimento do fruto” foram considerados por Medcalf (1982) os mais críticos durante o ciclo da planta, em relação aos efeitos negativos do estresse hídrico sobre o rendimento da cultura.

Uma vez conhecidos os períodos fenológicos mais importantes para a irrigação, tem que ser definida a frequência desta prática. Existem diversos parâmetros que podem ser utilizados isoladamente ou, de forma mais segura, conjuntamente, para determinar essa prática. De acordo com Py et al. (1987), deve-se irrigar o abacaxi quando os tensiômetros, colocados a 15 cm de profundidade do solo, estiverem marcando 15 kPa.

A estreita relação observada entre a umidade do solo e a elongação foliar do abacaxizeiro sugere a possibilidade do uso de mensurações do crescimento da folha, em comprimento, como meio para determinar a necessidade de irrigação (Medcalf, 1982). Outro modo de avaliar a necessidade de água do abacaxizeiro é pelo exame visual do tecido aquífero (Van Lelyveld, citado por Green, 1963; Medcalf, 1982), após o corte transversal da folha ‘D’ a 1/3 da altura da sua base, considerando ser esta folha a folha adulta mais jovem que terminou seu crescimento, traduzindo o estágio fenológico da planta do abacaxi (Py & Tisseau, 1965; Souza et al., 2001). A maior ou menor espessura do tecido aquífero (faixa aquosa translúcida) indicará a necessidade de irrigação ou não. Medcalf (1982) recomendou uma relação de 1:2 entre a espessura desse tecido translúcido e a espessura dos tecidos verdes da folha, para plantas em fase de crescimento vegetativo e, uma relação 1:1, para plantas na fase reprodutiva.

## 2.2 Temperatura

A temperatura é o fator que mais limita a expansão da cultura e que afeta o ciclo da planta (Py et al., 1987). O crescimento e o desenvolvimento do abacaxizeiro são bastante influenciados pela temperatura, estando a faixa ótima, para o crescimento das raízes e das folhas, entre 22°C e 32°C ou, de modo mais específico, entre 29° e 32°C (Sanford, 1962). Para Bartholomew et al. (2003), as temperaturas ótimas para o crescimento do abacaxizeiro estão em torno de 30°C, durante o dia, de 20°C à noite e, média de cerca de 24°C. Por ser uma planta tropical, o abacaxizeiro pode suportar temperaturas mais altas, em torno de 40°C, porém, acima dessa faixa ocorrerão sérios problemas de queima da folha e do fruto, sobretudo se combinadas com alta radiação solar (Bartholomew & Kadzimin, 1977), o que pode, inclusive, causar a morte da planta. Pelo mesmo motivo, essa planta não suporta temperaturas próximas de zero, por muito tempo, apesar de já ter sido observadas temperaturas de 5°C em alguns plantios, sem causar problemas. Embora o abacaxizeiro não apresente períodos de dormência, seu crescimento é bastante reduzido quando as temperaturas baixas prevalecem (Green, 1963). Como se sabe, temperaturas baixas reduzem o tamanho das folhas e a absorção de nutrientes e, via de consequência, o crescimento e a produtividade. No sul do Brasil, do plantio à colheita, decorrem 24 meses, enquanto no norte (próximo ao Equador), esse período é reduzido para 12 meses.

Tendo em vista que a localização de uma área, em relação ao nível do mar, influencia a luminosidade, a pluviosidade, a umidade do ar e outros aspectos, a altitude desempenha um papel preponderante na produção do abacaxizeiro. Ademais, considerando-se que esta planta não suporta clima muito frio (Bartholomew & Kadzimin, 1977), sua exploração fica limitada às regiões de baixa altitude, onde é encontrada a maioria de seus plantios, apesar de existirem alguns em locais acima de 1.000 m (Ceilão: 1.221, Thika: 1.463 m e Guatemala: 1.550 m) (Johnson, 1935; Collins, 1960).

Observando-se a influência do termoperíodo na alongação da folha central da roseta e na produção de matéria seca do abacaxizeiro 'Smooth Cayenne', notou-se que há uma fraca correspondência entre o aumento na alongação da folha e a produção de matéria seca, e que esta última pode ser elevada, mesmo sob temperaturas consideradas subótimas, para o desenvolvimento da raiz e da folha (Bartholomew & Kadzimin, 1977). Além disso, o pequeno decréscimo na produção de matéria seca, correspondente à queda de 8°C (30/26°C - 22/18°C), mostra certa capacidade de adaptação de a cultivar Smooth Cayenne a uma ampla faixa de temperaturas, conquanto esses dados tenham sido obtidos com base numa pequena amostra de plantas. Os alongamentos da raiz e da folha são seriamente prejudicados quando a temperatura está abaixo de 21°C e acima de 35°C (Sanford, 1962). Zhu et al. (1997) observaram que a fixação noturna de CO<sub>2</sub>, a acidez titulável, o uso eficiente de água e o acúmulo de biomassa foram mais altos em plantas submetidas a regimes de temperaturas dia/noite de 35/25° e de 30/20°C, em relação ao regime 30/35°C.

Nas regiões quentes e úmidas, próximas do Equador, a massa foliar é exuberante, as folhas são numerosas, largas e flácidas, e a produção de mudas baseia-se quase que exclusivamente nos rebentões (cultivar Smooth Cayenne). Já em regiões onde a temperatura é baixa, o crescimento é mais lento, as folhas são retas, rígidas, pequenas e pouco numerosas, e a produção de mudas do tipo filhote é abundante (Pinon, 1978).

A temperatura elevada, juntamente com outros fatores, também é responsável pela ocorrência de fasciação, anomalia que pode atingir a planta no período próximo ao florescimento e ao fruto, tornando este último achatado, em forma de leque. A fasciação pode adquirir várias formas, desde uma coroa dupla até diversos frutos em uma mesma planta, quando o processo é desencadeado mais cedo, no ciclo, e atinge o meristema apical (Py, 1949; Jacques-Felix, 1950; Green, 1963; Gonzalez-Tejera & Gandia-Diaz, 1976; Ganapathy et al., 1977). Esta anomalia é comum em 'Singapore Spanish' e em alguns clones de 'Smooth Cayenne', mas não em cultivares do grupo 'Queen' (Collins, 1960). Costuma ocorrer em fase do ciclo em que as plantas apresentam rápido crescimento, quando cultivadas em solos com alta fertilidade, seguindo-se a um longo período de seca, e durante a iniciação floral (Collins, 1960; Py et al., 1987). Altas densidades de plantio contribuem para diminuir a incidência de fasciação, em função do sombreamento mútuo entre plantas, o que reduz a temperatura em volta do ápice



caulinar (Norman, 1977; Py et al., 1987). Por isso, observa-se uma maior ocorrência nas plantas das filas externas das quadras, adjacentes aos carregadores. A irrigação durante a floração também pode diminuir a porcentagem de plantas fasciadas.

A temperatura é, também, um dos fatores que influenciam a floração. A queda da temperatura, principalmente a noturna, induz o florescimento natural do abacaxizeiro (Nightingale, 1942; Van Overbeek & Cruzado, 1948). Quando a diferenciação floral coincide com períodos de temperaturas amenas e menor comprimento do dia, ou de maior nebulosidade, a produção de mudas do tipo filhote é favorecida.

Quanto ao fruto, diz-se que uma variação em torno de 12°C a 14°C, entre as temperaturas máximas e mínimas, ocorrida num período de 24 horas, contribui para a melhoria da qualidade, especialmente no tocante à acidez (Choairy, 1985). Este aspecto torna-se mais relevante quando se considera a produção de frutos para a indústria. Pesquisas têm mostrado que temperaturas diurnas altas e noturnas baixas constituem uma condição ótima para o desenvolvimento do fruto. Fruto produzido em meses quentes apresenta acidez moderada, excelente aroma, sabor e cor, o que não acontece com aquele produzido em épocas frias, que é mais ácido, de cor e aroma inferiores e de baixo teor de carboidratos (Collins, 1960; Green 1963). Giacomelli et al. (1979) observaram que frutos da cultivar Smooth Cayenne, colhidos no inverno, apresentaram o dobro da acidez daqueles colhidos no verão. A produção de mudas também foi afetada, sendo o número de filhotes quase nulo, quando a diferenciação floral ocorreu em período quente. A alta temperatura pode contribuir para agravar a queima-solar do fruto.

A temperatura do solo tem grande influência no crescimento do abacaxizeiro. Estudos conduzidos no Havai (Ravoof, citado por Bartholomew & Kadzimin, 1977), em solução nutritiva, mostraram aumento do peso fresco da planta com o aumento da temperatura no meio de enraizamento, o qual foi mais pronunciado quando a temperatura variou de 20°C para 25°C. A percentagem de matéria seca da folha decresceu de 16,5%, a 15°C, para 12,5%, a 30°C. Segundo aquele mesmo autor, é interessante observar o efeito da interação entre temperatura e adubos nitrogenados, no peso da raiz. Com o uso dos nitratos de amônio e de sódio, observaram-se pesos maiores à temperatura de 30°C, enquanto, com sulfato de amônio, pesos máximos foram obtidos a 25°C.

### 2.3 Radiação Solar

Aluminosidade exerce ação não apenas sobre o crescimento vegetativo e o rendimento do abacaxizeiro, como também sobre a qualidade do fruto (composição, coloração), como foi demonstrado por alguns autores (Nightingale, 1942; Collins, 1960). Green (1963) comentou que uma baixa luminosidade retarda o crescimento da planta e pode resultar na produção de fruto pequeno e de má qualidade. Na Martinica, observou-se que o aumento da radiação solar com a diminuição da altitude, resultou em um aumento de 2,5 vezes na massa foliar e da ordem de 58% na massa média do fruto, ao passar-se de uma altitude de 380 m para uma de 50 m (Py et al., 1987). Sanford (1962) observou que cada diminuição de 20% de radiação solar correspondeu a uma redução de 10% no rendimento da cultura. Dessa forma, o que limita a produção em áreas elevadas são a radiação solar e a temperatura baixas (Aubert et al., 1973). Uma radiação solar menos intensa, no mês que antecede à colheita, ocasiona a produção de frutos menores, com teor baixo de açúcares e acidez elevada. Deve-se salientar que a ação deste fator está intimamente relacionada com a temperatura e o fotoperíodo, sendo difícil separar seus efeitos, sobretudo em regiões de altitude muito elevada. A redução da luminosidade, por causa da nebulosidade, pode provocar a floração natural do abacaxizeiro (Py, 1968a; Aubert, 1977), mesmo em condições de dias longos ou onde as variações no fotoperíodo são fracas (Teisson, 1972; Reinhardt et al., 1986).

A radiação solar mais intensa aumenta a taxa e a duração da fixação de CO<sub>2</sub>, porque os estômatos abrem mais cedo no período da tarde; isso pode aumentar a transpiração durante o dia (Malézieux et al., 2003), o que foi confirmado por Nose et al. (1981). Sabe-se que uma radiação solar intensa pode causar queimaduras no fruto, tanto interna quanto externamente (queima-solar), depreciando-o comercialmente. E, juntamente com alta temperatura, quando ocorre no início da floração, aumenta a incidência, nos frutos, de coroas múltiplas ou deformadas (Malézieux et al., 2003). No entanto, um

fruto produzido sob condições de luminosidade normal apresenta uma coloração brilhante, o que não ocorre sob radiação solar menos intensa, que torna o fruto fosco, além de atrasar seu desenvolvimento e colheita.

Quanto ao aspecto vegetativo, da mesma forma que os outros elementos climáticos, a radiação solar afeta o fenótipo da planta. Assim, sob radiação solar menos intensa, as folhas tornam-se alongadas, eretas, de cor verde-escura (Py et al., 1987), enquanto, sob alta luminosidade, a cor da folha passa a ser amarela ou arroxeadas.

A radiação solar mínima necessária ao desenvolvimento e à produção do abacaxizeiro está entre 1.200 e 1.500 horas/ano, sendo o ótimo de 2.500 a 3.000 horas/ano (Reinhardt et al., 2000). Le Roux (1951) afirmou que 6,3 horas diárias de radiação solar são satisfatórias para a produção do abacaxi. A radiação solar iguala-se à temperatura como fator determinante para a produção da cultura e para qualidade do fruto (Bartholomew & Kadzimin, 1977).

## 2.4 Fotoperíodo

O comprimento do dia, ou melhor, a duração dos períodos de luz e de escuro, está em geral relacionada com o ciclo das culturas e influi, de modo direto, na floração, desencadeando-a. Friend & Lydon (1979) concluíram que o florescimento do abacaxizeiro é controlado pelo comprimento do dia, não sendo influenciado de forma direta pela massa seca da planta, nem pelo metabolismo CAM, nem pelo total de luz recebida. Apesar de algumas controvérsias sobre o principal fator que desencadeia o florescimento, o abacaxizeiro é considerado uma planta de dias curtos, com comprimento de oito horas ou menos (Sideris et al., 1939; Gowing, 1958; 1961). Estes autores afirmaram que a cultivar Smooth Cayenne é uma planta de dias curtos quantitativa, ou seja, requer o acúmulo desses dias para florescer. As divergências de opinião estão baseadas no fato de o abacaxizeiro ser uma planta de origem tropical, cultivada em latitudes nas quais as variações entre o comprimento dos dias e das noites são pequenas (Johnson, 1935), e apresenta, assim, quase nenhuma fotoperiodicidade (Collins, 1960). E também porque nem todas as variedades respondem de modo igual a tais variações (Van Overbeek & Cruzado, 1948). Estes últimos autores informaram que temperaturas baixas foram mais eficientes em desencadear o florescimento da cultivar Red Spanish que dias curtos.

No entanto, tem-se observado que, na maioria das vezes, os abacaxizeiros que alcançam um crescimento adequado, em geral, iniciam a floração quando os dias se tornam mais curtos, e a emissão da inflorescência é tanto mais rápida quanto menor for o comprimento dos dias, isto é, de oito horas ou menos (Gowing, 1958; Green, 1963). De acordo com estes autores, uma evidência a favor desse fato é que a interrupção do período escuro suprime o efeito indutor do encurtamento dos dias.

## 2.5 Vento

O vento é o principal fator de regulação térmica do abacaxizeiro no período diurno, quando os estômatos estão fechados (Py et al., 1987). O vento pode ser benéfico ou prejudicial, dependendo de sua intensidade e interação com outros elementos climatológicos, bem como da época de ocorrência, com relação às fases do ciclo da cultura. Ainda não se sabe com certeza se a ação do vento é resultado de efeitos físicos, de alterações no balanço hídrico ou de redução da temperatura na copa dos abacaxizeiros, mas sabe-se que seu efeito na evapotranspiração (ET) é pequeno quando o solo está coberto pelas plantas (Malezieux et al., 2003).

Mesmo podendo ser considerada uma planta razoavelmente resistente ao vento, em decorrência da arquitetura e estrutura de suas folhas, julga-se necessário, em alguns casos, o uso de quebra-ventos (Py et al., 1987), sobretudo em áreas muito próximas do mar.

De acordo com Malézieux et al. (2003), no Havaí, ventos fortes de 56 km h<sup>-1</sup> não causaram danos expressivos nas plantas, nem nos frutos. Estes autores relatam, ainda, que o vento pode remover grande quantidade de calor dos frutos, o que reduz sua temperatura interna e, via de consequência, diminui a incidência da queima-solar. E, do mesmo modo, pode reduzir a ocorrência de coroas múltiplas e mal formadas.

## 2.6 Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa é importante para a cultura do abacaxi pois, a exemplo do que ocorre em outras culturas, mudanças súbitas deste elemento poderão causar problemas de fendilhamento, não apenas na inflorescência mas também no fruto, depreciando-o comercialmente. Além disso, quando alta, a umidade pode contribuir para aumentar a incidência de doenças fúngicas e bacterianas (Green, 1963). Porém, em áreas de baixa precipitação, uma alta umidade melhora o crescimento da planta, em virtude da captação da água condensada pelas folhas. Já um déficit de umidade, na fase inicial de crescimento da planta, ao causar um atraso no seu desenvolvimento, pode retardar a indução floral artificial (Py, 1968a), enquanto, num estágio mais avançado de crescimento, pode apressar a floração natural (Chandler, citado por Green, 1963), causando ressecamento na extremidade das folhas.

De acordo com Green (1963), a umidade relativa média do ar, nas diferentes regiões produtoras de abacaxi do mundo, está numa faixa entre 75% e um valor um pouco mais alto.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

A ocorrência de granizo nas regiões produtoras é rara, mas tem sido relatada na Austrália, África do Sul (Malezieux et al., 2003) e no sul do Brasil. A constituição anatômico-morfológica do abacaxizeiro o protege contra danos causados pelo granizo, no caso de uma leve ocorrência (Green, 1963). Entretanto, tempestades de granizo mais intensas podem danificar seriamente a cultura, provocar ferimentos nas folhas, mesmo que de forma temporária (Le Roux, 1951), e reduzir sua área foliar. Acredita-se que o fruto do abacaxizeiro seja bem mais resistente ao granizo que a folha (Malan, citado por Green, 1963).

Precipitações elevadas e constantes reduzem a qualidade e o tempo de conservação do fruto (Collins, 1960; Green, 1963) e, se coincidirem com o período de abertura de flores, aumentam, de modo considerável, a incidência de fusariose (Matos et al., 1981). Altas precipitações aumentam, também, a ocorrência das podridões do “olho” da planta e da raiz, sobretudo em períodos frios. Tais precipitações contribuem ainda para o encharcamento do solo, o que dificulta a aeração e a drenagem e, portanto, prejudica o crescimento e o desenvolvimento do abacaxizeiro. Nessa situação, a cor das folhas torna-se amarelo-pálida, mudando, depois, para vermelho, semelhante ao que ocorre com o estresse hídrico. Observa-se ainda redução no crescimento das folhas, que se tornam eretas.

### 3.2 Seca fora de época e veranico

Apesar de suas características xeromórficas, o crescimento e a produção do abacaxizeiro diminuem de modo significativo quando a seca é prolongada.

Precipitações abaixo da faixa adequada não só atrasam o desenvolvimento da planta e do fruto, se ocorrer durante sua formação, como também podem ocasionar problemas na diferenciação floral (Chandler, citado por Green, 1963; Py, 1969), e influir, de modo direto, no rendimento da cultura, se bem que a distribuição da chuva é mais importante que sua quantidade. O crescimento da planta torna-se crítico sob condições de umidade do solo abaixo de 5% a 10% (Sideris & Krauss, 1928; Shiroma, 1971).

O cultivo do abacaxizeiro sem irrigação, em áreas de baixa precipitação, apenas terá sucesso se a mesma for bem distribuída ao longo do ano e forem usadas técnicas adequadas de conservação da umidade do solo (cobertura com plástico e com restos culturais, etc.).

Em condições de deficiência hídrica severa e prolongada, observa-se o amarelecimento da planta, reduzindo a emissão de folhas, que perdem a turgescência, tornando-se estreitas e eretas, adquirindo cor arroxeada e enrolando os bordos do limbo para baixo. Tais sintomas, algumas vezes, podem ser confundidos com os da murcha-do-abacaxi, causada pelos vírus associados à cochonilha *Dysmicoccus brevipes*. Também pode ocorrer diminuição no número, crescimento e até mesmo a morte das raízes (Kadzimim, 1975 e Krauss, 1959, citados por Malézieux et al., 2003). Em casos extremos, pode haver

um ressecamento das raízes e do pedúnculo, causando o tombamento do fruto (Py et al., 1987).

Caso ocorra déficit hídrico durante a formação e o desenvolvimento do fruto, poderá haver fendilhamento ou rachadura da casca e, ou, da polpa, com seus frutinhos tornando-se salientes, a exemplo do que ocorre em decorrência do frio. Ademais, um período de deficiência de água nessa fase pode também afetar seriamente a sua massa, que pode diminuir, em até 750 g, na cultivar Smooth Cayenne (Combres, 1983), diminuindo a acidez total titulável (Py et al., 1987). Entretanto, o déficit hídrico é menos prejudicial que o excesso, o que pode ser explicado pelo metabolismo MAC, pela capacidade de armazenar água da planta e pela sensibilidade das raízes à falta de aeração (Py et al., 1987). Por outro lado, os efeitos da seca podem ser revertidos tão logo a água torne-se disponível.

### 3.3 Vento intenso (ventanias e vendavais)

Ventanias e vendavais podem danificar seriamente todas as partes do abacaxizeiro ou mesmo arrancá-lo do solo, causando perdas significativas na produção (Py et al., 1987). O vento, quando forte ou seco, pode ocasionar problemas ao abacaxizeiro, tais como ressecamento da ponta das folhas, em função do aumento da transpiração, e ferimento nos seus bordos, decorrente do atrito, abrindo assim portas de entrada para fungos, a exemplo do *Chalara paradoxa* (Johnson, 1935) e, possivelmente, outros microorganismos. A depender da intensidade, o vento pode ainda causar o tombamento de plantas, intensificar a queima-solar do fruto e dificultar os tratamentos fitossanitários, diminuindo a eficiência dos defensivos. Os prejuízos variam de acordo com as fases do ciclo, sendo mais altos próximos da floração (Py et al., 1987). Além disso, a ação de ventos constantes pode reduzir o porte do abacaxizeiro em torno de 25% (Nightingale, 1942). Se ventos fortes ocorrerem próximo da colheita, sobretudo quando frios e secos, podem causar rachaduras no fruto (Groszmann, 1948). Na Martinica, ventos fortes provocaram uma queda de 17% no rendimento da cultura (Py et al., 1987).

Em plantações próximas do mar, a salinidade conduzida pelo vento pode causar sérias necroses na extremidade das folhas, sendo conhecidos casos em que tais necroses atingiram 25% da área foliar total (Sideris, 1955).

### 3.4 Geada

A cultura do abacaxi pode ser praticada em regiões onde ocorrem geadas, pois períodos curtos de baixas temperaturas não causam danos irreversíveis ao abacaxizeiro. Pouco se conhece acerca da resistência varietal do abacaxi ao frio, mas a cultivar Queen tem-se mostrado menos prejudicada que outras, nessa condição (Collins, 1960). Entretanto, sabe-se que o frio torna proeminentes os “olhos” do fruto e que as geadas mais intensas podem danificar as plantas, causando secamento de folhas e atraso no crescimento (Giacomelli & Py, 1981).

### 3.5 Chuva excessiva e, ou, excesso hídrico prolongado

De modo similar à seca, o excesso de água pode limitar o crescimento do abacaxizeiro, reduzir sua produtividade e aumentar a suscetibilidade a pragas. Em razão de ser planta muito sensível a condições de encharcamento, situações de má drenagem e má aeração do solo prejudicam o desenvolvimento do sistema radicular. Além das influências negativas sobre o crescimento das raízes, as situações de excesso de água e de drenagem deficiente do solo e, via de consequência, de má aeração, afetam o desenvolvimento da parte aérea do abacaxizeiro, cujas folhas tornam-se estreitas, curtas, mais eretas e de coloração amarelo-avermelhada (Py et al., 1987).

Aos distúrbios morfológicos e fisiológicos sofridos pelo abacaxizeiro, sob condições de má drenagem e excesso de chuva, devem ser acrescentados o favorecimento ao apodrecimento de raízes e à morte de plantas, causados por fungos do gênero *Phytophthora*. Daí a recomendação de plantio em solos bem drenados e, em alguns casos, em camalhões. Ademais, o excesso de chuva durante a frutificação causa fragilidade da polpa e diluição dos sólidos solúveis totais, o que reduz a

qualidade do fruto (Py et al., 1987).

Considerando os aspectos abordados sobre a sensibilidade do abacaxizeiro ao excesso de umidade na rizosfera, é conveniente que o lençol freático ou zonas de estagnação de água não se situem a menos de 80 a 90 cm da superfície do solo (Pinon, 1978).

Solos de textura média (15g a 35g de argila/100g de solo e mais de 15g de areia/100g de solo), sem impedimentos a uma livre drenagem do excesso de água, são os mais indicados para essa cultura. Os solos de textura arenosa (até 15g de argila/100g de solo e mais de 70g de areia/100g de solo) que, em geral, não apresentam problemas de encharcamento, são também recomendados para a abacaxicultura, e requerem, quase sempre, práticas de manejo agrícola que melhorem sua capacidade de retenção de água e de nutrientes.

A preferência por solos de textura média ou arenosa não deve ser entendida como excludente para os solos argilosos (acima de 35g de argila/100g de solo), nos quais a cultura pode-se desenvolver e produzir bem, desde que sejam respeitadas as exigências quanto à aeração e à drenagem. É oportuno lembrar que a capacidade de retenção de água pelo solo e, por conseqüência, a sua condição de drenagem, não são estabelecidas de forma isolada pelo seu teor de argila. São também determinantes dessas características os minerais presentes na fração argila, o teor de matéria orgânica e, fundamentalmente, a estrutura do próprio solo. Portanto, solos de textura argilosa que apresentem boas condições de drenagem, como, por exemplo, a maioria dos Latossolos argilosos, podem, perfeitamente, ser indicados para a abacaxicultura.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo que foi exposto, conclui-se que é realmente difícil isolar a influência dos diversos elementos climatológicos sobre o crescimento, o rendimento e a qualidade do fruto do abacaxizeiro. O que se observa são efeitos interativos entre a temperatura e a precipitação, entre a insolação e a altitude entre a temperatura, a umidade e a altitude, entre a insolação e o fotoperíodo, dentre outras interações. No entanto, o abacaxizeiro pode ser cultivado numa ampla faixa de condições climatológicas e edáficas, o que explica sua grande distribuição por diversas áreas agrícolas do mundo.

Nota-se também que os elementos climáticos, além de interagirem de forma direta com o abacaxizeiro e influenciarem suas características morfológicas, anatômicas e fisiológicas, ainda atuam sobre outros componentes do meio ambiente, refletindo no desempenho da planta, isto é, no seu desenvolvimento e na sua produção. Há que se considerar, nesse caso, os aspectos referentes ao solo e ao ataque de pragas e doenças.

Dos elementos climáticos abordados, os que se apresentam como limitantes para a cultura do abacaxi são: nas regiões tropicais, a alta precipitação associada à umidade excessiva e à má drenagem dos solos, que causam sérias desordens fisiológicas e, ou, fitossanitárias, bem como a temperatura elevada, que torna o fruto grande e sem sabor (alta relação açúcares/acidez); nas regiões subtropicais, a baixa temperatura, que atrasa sobretudo o desenvolvimento da planta (Green, 1963).

A diferenciação floral natural é influenciada por temperatura e insolação baixas, comprimento do dia curto e condições extremas de umidade (seca ou excesso de água). O mesmo ocorre com a produção de mudas, quando a floração coincide com período seco e quente, em comparação com períodos nebulosos e chuvosos ou úmidos.

Estudos conduzidos no Havai (Collins, 1960) mostraram que mudanças nas condições ambientais, tais como temperatura, umidade e altitude, exerceram influência marcante nas características da planta e do fruto do abacaxizeiro 'Smooth Cayenne', permitindo distinguir os seguintes tipos:

- frutos com elevado teor de açúcares e baixo teor de acidez, oriundos de regiões tropicais quentes;
- frutos, também, com alto conteúdo de açúcares, baixo teor de acidez, de polpa mais amarela e maior translucidez, provenientes de áreas com temperaturas mais amenas; e
- frutos pequenos, de peso médio abaixo de 1,8 kg, de polpa amarelo-pálido, translucidez baixa, acidez alta e baixo teor de açúcares, oriundos de regiões de temperatura e umidade baixas e altitude elevada.

Também tem sido observado o amarelecimento adiantado da polpa em relação à casca, ou seja, um descompasso entre a maturação de ambos, causado por temperatura, luminosidade e precipitações elevadas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABACAXI on-line. **Informativo Mensal da Equipe Técnica de Abacaxi – ETA**, Cruz das Almas, v. 5, n. 2, maio/ago. 2007.
- ALMEIDA, O. A. **Irrigação na cultura do abacaxi**: aspectos técnicos e econômicos. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2001. 35 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular técnica, n. 4).
- ALMEIDA, O. A.; REINHARDT, D. H. R. C. Irrigação. In: CUNHA, G. A. P. et al. (Org.). **O abacaxizeiro**: cultivo, agroindústria e economia. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia 1999. p. 203-227.
- AUBERT, B. Étude du cycle de floraison naturelle de l'ananas 'Victoria' à la Reunion. **Fruits**, Paris, v. 32, n. 1, p. 25-41, 1977.
- AUBERT, B.; BARTHOLOMEW, D. P. Mesures en champ de la temperature de limbes d'ananas par radiometrie infrarouge. **Fruits**, Paris, v. 28, p. 623-629, 1973.
- AUBERT, B.; BARTHOLOMEW, D. P. Mesures en champ de la temperature de limbes d'ananas par radiometrie infrarouge. **Fruits**, Paris, v. 28, p. 623-629, 1973.
- AUBERT, B. et al. Influence de l'altitude sur le comportement de l'ananas 'Cayenne Lisse'. Essais réalisés au pied du Mont Cameroun. **Fruits**, Paris, v. 28, n. 3, p. 203-214, 1973.
- BARTHOLOMEW, D. P. et al. Inflorescence and fruit development and yield. In: BARTHOLOMEW, D. P.; PAULL, R. E.; ROHRBACH, K. G. (Ed.). **The pineapple**: Botany, production and uses. New York: CABI Publishing, 2003. 301 p.
- BARTHOLOMEW, D. P.; KADZIMIN, S. B. Pineapple. In: ALVIM, P. de T.; KOZLOWSKI, T. T. **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p.113-156.
- BLACK, R. F. Pineapple growth and nutrition over a plant crop cycle in Southeastern Queensland. I. Root development and general growth features. **Queensland Journal of Agricultural Science**, Brisbane, n. 19, p. 435-451, 1962.
- BOTELLA, J. R.; CAVALLARO, A. S.; CAZZONELLI, C. I. Towards the production of transgenic pineapple to control flowering and ripening. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 529, p. 115-122, May 2000.
- CHOAIRY, S. A. **A cultura do abacaxi**: práticas de cultivo. 2. ed. João Pessoa: EMEPA. 1985. 21 p. (EMEPA-PB. Circular técnica, 1).
- CLARK, H. E.; KERNS, K. R. Control of flowering with phytohormones. **Science**, London, n. 95, p. 536-537, 1942.
- COLLINS, J. L. **The pineapple, botany, utilisation, cultivation**. London: Leonard Hill, 1960. 294 p.
- COMBRES, J. C. **Bilan énergétique et hydrique de l'ananas, utilisation optimale des potentialités climatiques**: compte-rendu d'activités. Auquédedou: IRFA, 1983. 108 p.
- COPPENS D'ECKENBRUGGE, G.; LEAL, F. Morphology, anatomy and taxonomy. In: BARTHOLOMEW, D. P.; PAULL, R. E.; ROHRBACH, K. G. (Ed.). **The Pineapple**: Botany, production and uses. New York: CABI Publishing, 2003. p.13-32.
- CUNHA, G. A. P. Controle da época de produção do abacaxizeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 195, p. 29-32, 1998.
- DUPRESSIS, S. F. **Irrigation of pineapples**. In: PINEAPPLES. South Africa: Department of Agriculture and Water Supply, 1989. 1 p.
- EKERN, P. C. Evapotranspiration of pineapple in Hawaii. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 40, p. 736-739, 1965.
- FAO. Statistics Division. **FAOSTAT**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/default.aspx>. Acesso em: 4 fev. 2009.
- FRIEND, D. J. C.; LYDON, J. Effects of daylength on flowering, growth, and CAM of pineapple (*Ananas comosus*, L., Merrill). **Botanical Gazette**, Chicago, v. 140, n. 3, p. 280-283, 1979.
- GAILLARD, J. P. Recherche d'un equilibre K/N dans la production de l'ananas frais au Cameroon. I. Resultats agronomiques. **Fruits**, Paris, v. 25, p. 11-24, 1970.
- GANAPATHY, K. M.; SINGH, H. P.; DASS, H. C. A note on phenotypic expression of some characters in Kew pineapple influenced by nutritional levels of plants. **Indian Journal of Horticulture**, Lucknow, v. 34, n. 2, p. 142-143, 1977.
- GIACOMELLI, E. J.; PY, C. **O abacaxi no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1981. 101 p.
- GIACOMELLI, E. J.; PY, C.; LOSSOIS, P. Estudo sobre época de produção para o abacaxizeiro Cayenne, no planalto paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 5., 1979, Pelotas: **Anais...** Caçador: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1979. v. 2, p. 499-511.
- GONZALES TEJERA, E.; GANDIA DIAZ, H. The effects of nitrogen and potassium fertilizers on the productivity and quality of the pineapple cultivar Smooth Cayenne. In: ANNUAL CONGRESS OF THE AMERICAN SOCIETY FOR HORTICULTURAL SCIENCE, TROPICAL REGION, 24., 1976. p.196-205. [S.l.: s.n., 197-?].
- GOWING, D. P. The induction of flowering in pineapples by exposure to short-day length. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 33, p. 19-20, 1958.
- GOWING, S. P. Experiments on the photoperiodic response in pineapple. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 48, p. 16-21, 1961.
- GREEN, G. C. The pineapple plant. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **The effect of weather and climate upon the keeping quality of fruit**. Geneva: WMO, 1963. p.136-180. (Technical note, 53).
- GROSZMANN, H. M. Pineapple culture in Queensland. **Queensland Agricultural Journal**, Brisbane, v. 67, n. 2, p. 78-100, 1948.
- HAYES, W. B. The pineapple. In: **Fruits growing in India**. 3. ed. Kitabishan: Allahabad, 1957. p. 365-381.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 jul. 2008.
- IRFA. **La culture de l'ananas d'exportation en Cote d'Ivoire**: manuel du planteur. Abidjan: Les Nouveles Editions Africaines, 1984. 112 p.
- JACQUES-FELIX, H. Discussion sur la fasciation de l'ananas. **Fruits**, Paris, v. 5, p. 39-51, 1950.
- JOHNSON, M. O. **The pineapple**. Honolulu: Paradise, 1935. 306 p.
- JOSHI, M. C.; BOYER, J. S.; KRAMER, P. J. Growth, carbon dioxide exchange, transpiration and transpiration ratio of pineapple. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 126, p. 174-179, 1965.
- KERNS, K. R.; COLLINS, J. L.; KIM, H. Developmental studies of the pineapple *Ananas comosus* (L.) Merr. I. Origin and growth of leaves and inflorescence. **New Phytologist**, Cambridge, v. 35, p. 305-317, 1936.
- KRAUSS, B. H. Anatomy of the vegetative organs of the pineapple, *Ananas comosus* (L.) Merr. I. The stem and the lateral branch buds. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 110, n. 2, p.159-217, 1948a.

- KRAUSS, B. H. Anatomy of the vegetative organs of the pineapple, *Ananas comosus* (L.) Merr. II. The leaf. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 110, n. 3, p. 333-404, 1948b.
- KRAUSS, B. H. Anatomy of the vegetative organs of the pineapple, *Ananas comosus* (L.) Merr. III. The root and the cork. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 110, n. 4, p. 550-587, 1948c.
- KRAUSS, B. H. Anatomy of the vegetative organs of the pineapple, *Ananas comosus* (L.) Merr. II. The leaf. **Botanical Gazette**, Chicago, n. 110, p. 333-404, 1949.
- LE ROUX, J. C. The pineapple in South Africa. **Farming in South Africa**, Pretoria, v. 26, p. 198-202, 1951.
- MALÉZIEUX, E. Recherche de relations entre la biomasse aérienne, la surface foliaire et l'interception du rayonnement solaire chez l'ananas. **Fruits**, Paris, v. 46, p. 523-532, 1991.
- MALÉZIEUX, E.; CÔTE, F.; BARTOLOMEW, D. P. Crop environment, plant growth and physiology. In: BARTOLOMEW, D. P.; PAULL, R. E.; ROHRBACH, K. G. (Ed.). **The pineapple: Botany, production and uses**. New York: CABI Publishing, 2003. p. 69-107.
- ABACAXI on-line. **Informativo Mensal da Equipe Técnica de Abacaxi – ETA**, Cruz das Almas, v. 5, n. 2, maio/ago. 2007.
- MATOS, A. P. Fusariose do abacaxizeiro: Incidência no fruto em função da época de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 16, n. 2, p. 205-207, 1981.
- MATOS, A. P.; SANCHES, N. F. Desenvolvimento da inflorescência do abacaxizeiro 'Pérola'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 11, n. 2, p. 49-53, 1989.
- MEDCALF, J. C. Respostas do abacaxizeiro quando irrigado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ABACAXICULTURA, 1., 1982, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV, 1982. p. 91-98.
- NEALES, T. F.; PATTERSON, A. A.; HARTNEY, V. J. Physiological adaptation to drought in the carbon assimilation and water loss of xerophytes. **Nature**, London, v. 219, p. 469-472, 1968.
- NEILD, R. E.; BOSHELL, F. An agroclimatic procedure and survey of the pineapple production potential of Colombia. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 17, p. 81-92, 1976.
- NIGHTINGALE, D. T. Nitrate and carbohydrate reserves in relation to nitrogen nutrition of pineapple. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 103, p. 409-456, 1942.
- NORMAN, J. C. Influence of ethephon on net assimilation rate, relative growth rate and leaf area index of 'Sugarloaf' pineapple (*A. comosus*, L., Merr.). **Gartenbauwissenschaft**, Stuttgart, v. 43, n. 5, p. 76-78, 1977.
- OKIMOTO, M. C. Anatomy and histology of the pineapple inflorescence and fruit. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 110, n. 2, p. 217-231, 1948.
- PINON, A. **L'ananas de conserverie e sa culture**. Cote D'Ivoire: Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes, 1978. 82 p.
- PURSEGLOVE, J. W. **Tropical crops: monocotyledons** 1. New York: Wiley, 1972. 2 v.
- PY, C. Contribution à l'étude du cycle de l'ananas. **Fruits**, Paris, v. 23, n. 8, p. 403-413, 1968.
- PY, C. Étude sur la croissance de l'ananas en Guiné. **Fruits**, Paris, v. 14, n. 1, p. 3-24, 1959a.
- PY, C. **La piña tropical**. Barcelona: Editorial Blume, 1969. 278 p.
- PY, C.; LACOEUILHE, J. J.; TEISSON, C. **The pineapple: cultivation and uses**. Paris: G. P. Maisonneuve et Larose et A. C. C. T., 1987.
- PY, C.; LACOEUILHE, J. J.; TEISSON, C. **L'ananas, sa culture, ses produits**. Paris: G.P. Maisonneuve et Larose et A.C.C.T., 1984. 562 p.
- PY, C.; LOSSOIS, P. Prévisions de récolte en culture d'ananas. II. Étude de corrélations. **Fruits**, Paris, v. 17, n. 2, p. 75-87, 1962.
- PY, C.; LOSSOIS, P.; KARAMKAM, M. Contribution à l'étude du cycle de l'ananas. **Fruits**, Paris, v. 23, n. 8, p. 403-413, 1969.
- PY, C.; SILVY, A. Traitements hormones sur ananas. Méthodes pratiques pour diriger la production. **Fruits**, Paris, v. 9, n. 3, p. 101-123, 1954.
- PY, C.; TISSEAU, M. A. **L'ananas**. Techniques agricoles et productions tropicales. Paris: G.P. Maisonneuve et Larose, 1965. 298 p.
- REINHARDT, D. H. C.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S. **Abacaxi produção: aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Cruz das Almas, BA: Embrapa CTT, 2000. 77 p.
- REINHARDT, D. H. R. C.; COSTA, J. T. A. CUNHA, G. A. P. Influência da época de plantio, tamanho da muda e idade da planta para a indução floral do abacaxi 'Smooth Cayenne' no Recôncavo Baiano. I. Crescimento vegetativo, produção de mudas e florescimento natural. **Fruits**, Paris, v. 41, n. 1, p. 31-41, 1986.
- SANFORD, W. G. Pineapple crop log: concept and development. **Better Crops with Plant Food**, Atlanta, v. 46, p. 32-43, 1962.
- SIDERIS, C. P. Effects of sea water sprays on pineapple plants. **Phytopathology**, Saint Paul, United States, v. 45, p. 590-594, 1955.
- SIDERIS, C. P.; KRAUSS, B. H. Growth phenomena of pineapple fruits. **Growth**, Lakeland, v. 2, p. 181-196, 1938.
- SIDERIS, C. P.; KRAUSS, B. H. Water relations of pineapple plants. **Soil Science**, Baltimore, v. 26, p. 305-315, 1928.
- SIDERIS, C. P.; KRAUSS, B. H.; YOUNG, H.Y. Distributions of nitrogenous fractions, sugars, and other substances in ananas grown in darkness versus daylight. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 14, p. 647-676, 1939.
- SOUTO, R. F. et al. Níveis de umidade do solo e de adubação para o abacaxizeiro "Pérola" no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 20 n. 3, p. 332-342, dez. 1998.
- SOUZA, L. F. da S.; SOUTO, R. F.; MENEGUCCI, J. L. P. Adubação. In: REINHARDT, D. H.; SOUZA, L. F. da S.; CABRAL, J. R. S.; (Org.). **Abacaxi irrigado em condições semi-áridas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2001. p. 54-59.
- SU, N. R. Research on fertilization of pineapples in Taiwan and some associated cultural problems. [S.l.: s.n.], 1969. 189 p. (The Society of Soil Scientists and Fertilizer Technologists of Taiwan. Special publication, n. 1).
- TEISSON, C. Développement et croissance de l'inflorescence d'*Ananas comosus* (Cv. Cayenne lisse). **Fruits**, Paris v. 28, n. 6, p. 433-439, 1973.
- TEISSON, C. Étude sur la floraison naturelle de l'ananas en Côte d'Ivoire. **Fruits**, Paris v. 27, n. 10, p. 699-704, 1972.
- TEIWES, G.; GRUNEBERG, F. Conocimientos y experiencias en la fertilización de la piña. **Boletín Verde**, Hannover, v. 3, p. 1-67, 1963.
- VAN OVERBEECK, J.; CRUZADO, H. J. Note on flower formation in the pineapple induced by low night temperatures. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 23, p. 281-285, 1948.
- YODER, R. C.; BARTHOLOMEW, D. P. Effects of temperature on pineapple transpiration. **Plant Physiology**, Minneapolis, n. 44, p. 24, 1969. Annual Supplement.
- ZHU, J.; BARTHOLOMEW, D. P.; GOLDSTEIN, G. Effect of temperature, CO<sub>2</sub>, and water stress on leaf gas exchange and biomass accumulation of pineapple. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 425, p. 297-308, 1997.

# ALGODÃO

Foto: Fernando Weberich







## 1. INTRODUÇÃO

O algodoeiro é produzido em mais de 60 países, mas apenas cinco deles – China, Índia, Estados Unidos, Paquistão e Brasil – são responsáveis por aproximadamente 80% da produção mundial. Apesar da qualidade e multiplicidade de uso de suas sementes (óleo, proteína, celulose, fertilizante), o algodoeiro é cultivado, essencialmente, para a produção de fibras. Além disso, é também a segunda cultura mais importante na produção de óleo. Atualmente, a fibra de algodão atende a cerca de 50% do consumo mundial de fibras, e cerca de 70% do consumo brasileiro.

No Brasil, após um longo período de retração da área total plantada, motivada principalmente por fatores econômicos e pelo sistema de produção adotado (pequenas áreas), a cotonicultura retomou sua trajetória de recuperação a partir da safra 1996/97. Assim, saltou de 305,8 mil toneladas de pluma, produzidas na safra 1996/97, para 1.602,5 mil toneladas, na safra 2007/08, correspondente à área cultivada de 1.083,7 ha (CONAB, 2008). Essa retomada do crescimento da cultura, no Brasil, está fundamentada na expansão da área de cultivo para novas regiões, notadamente os cerrados do Centro-oeste e Bahia, e na adoção de novas tecnologias, como lavouras extensas, mecanização total da cultura e uso intensivo de insumos agrícolas.

Dentre as 52 espécies catalogadas no gênero *Gossypium*, pertencente à família *Malvaceae*, na qual o algodoeiro está inserido, apenas quatro são cultivadas comercialmente, isto é, *G. hirsutum*, *G. barbadense*, *G. herbaceum* e *G. arboreum*. Destas, *G. hirsutum* é a principal espécie, ocupando quase a totalidade das áreas produtoras do mundo. Esta espécie se diferenciou em raças e, no Brasil, assim como no mundo, o algodoeiro herbáceo ou anual (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.) é o mais importante. No Brasil, o algodoeiro arbóreo (mocó) ou perene (*Gossypium hirsutum* L. raça *Marie galante* Hutch.), de grande importância até a década de 80, encontra-se, atualmente, restrito a pequenas áreas do semi-árido do Nordeste.

### 1.1 Fenologia

O ciclo do algodoeiro é característica genética, porém, fortemente influenciada pelo ambiente. Cultivadas como plantas anuais, em condições normais, tendo como referência o tempo necessário para que 90% dos frutos estejam abertos, as cultivares podem ser classificadas em três grupos de maturação: precoces (120 a 130 dias), médias (140 a 160 dias) e tardias (acima de 170 dias).

Embora haja diferenças genéticas entre os grupos de maturação e as condições ambientais, o algodoeiro anual inicia o florescimento com cerca de 50 dias, estendendo-se até 120 dias ou mais, com o pico da curva de florescimento ao redor de 70 a 80 dias. O pegamento das flores é maior até 30 a 40 dias de florescimento, sendo favorecido pelas condições da planta e do ambiente.

O algodoeiro é estruturalmente complexo, devido ao hábito de crescimento indeterminado, ao padrão de desenvolvimento dos ramos simpodiais e ao padrão de florescimento. Isso torna relativamente difícil a sistematização do desenvolvimento desta espécie (MAUNEY, 1986). A transição entre os processos de desenvolvimento (estabelecimento da planta e raízes, área foliar e estabelecimento do dossel, florescimento e maturação) não é claramente distinguível (Figura 1). Desse modo, é considerável o efeito que o ambiente exerce, não apenas sobre o desenvolvimento vegetativo dessa planta, como também nos componentes

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Departamento de Produção vegetal, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ)/ Universidade de São Paulo (USP), Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba, SP. E-mail: ejchiave@esalq.usp.br.  
2- Eng. Agrônomo, Dr., Departamento de Produção vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.  
3- Eng. Agrônomo, Dr., Departamento de Produção vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

da produção (massa de capulhos, massa de sementes e porcentagem de fibras) e na qualidade da fibra.

No tocante aos componentes da produção, 80 a 90% dos frutos originam-se de flores abertas no primeiro mês de florescimento. Vários fatores ambientais influem positiva ou negativamente na viabilização das flores e dos frutos (maçãs), desde 23 dias antes da antese e por um período que se completa em cerca de 50 dias (GRIDI PAPP, 1965). Nesse período ocorre também o processo de formação e desenvolvimento da fibra, que compreende as fases de alongamento (da fibra) e deposição de celulose, as quais ocorrem predominantemente a partir de 15 até 55 dias após a antese (BENEDICT, 1984). Segundo Shubert et al. (1973), embora as fases de alongamento e deposição de celulose ocorram simultaneamente, em um determinado momento existe uma interface entre elas. De qualquer maneira, deve-se considerar que todo este processo biológico se dá sob considerável e decisiva influência do ambiente.

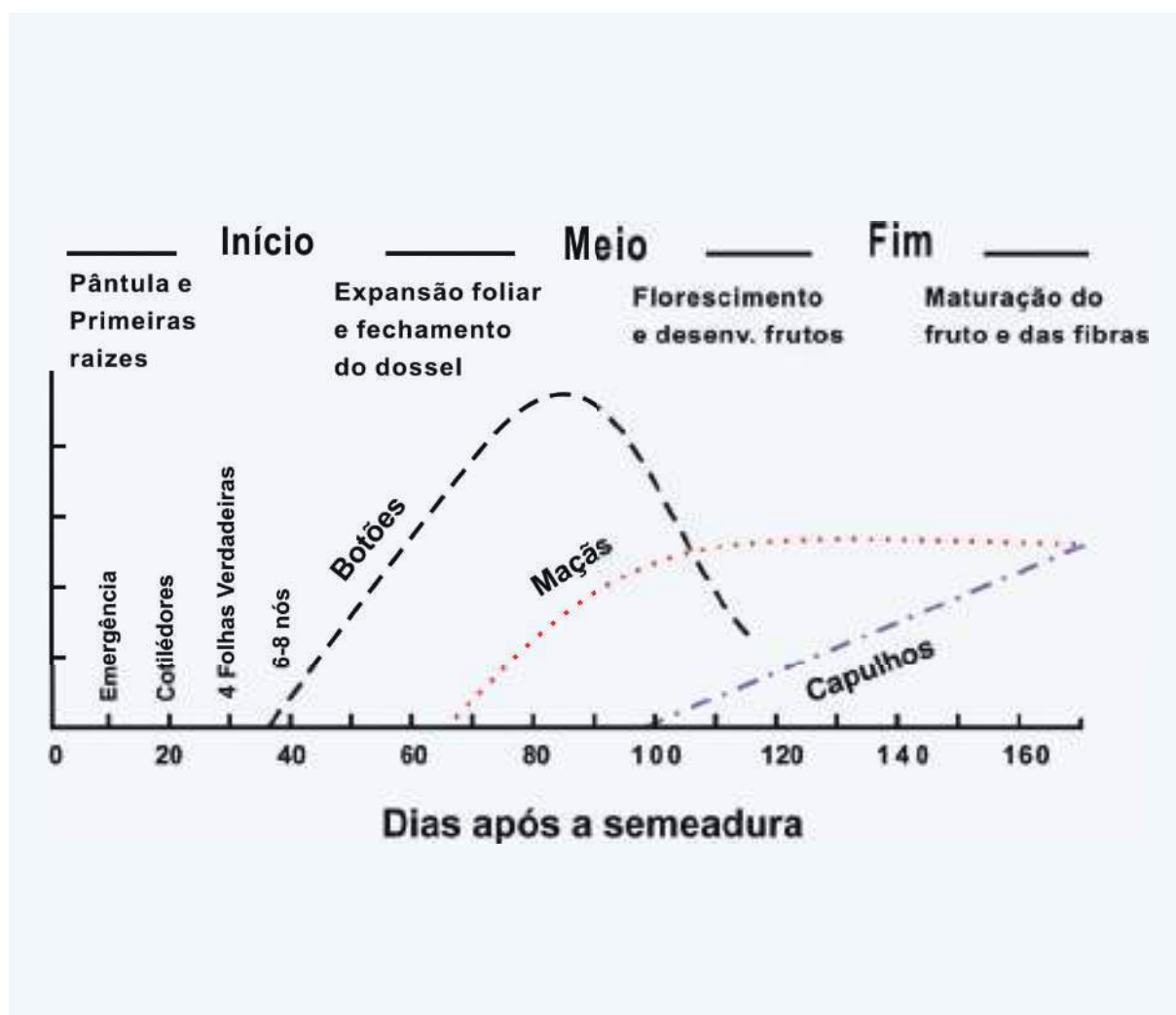


Figura 1. Ciclo de desenvolvimento do Algodoeiro. (Adaptado de Oosterhuis (1999)).

Para melhor entendimento do crescimento e desenvolvimento da planta durante o ciclo, as escalas fenológicas são ferramentas úteis e indispensáveis.

Chiavegato e Câmara (2000) subdividem o ciclo do algodoeiro em duas grandes fases: fase vegetativa (V), que se inicia com a emergência da plântula e termina com a formação do primeiro ramo frutífero; e fase reprodutiva (R), que tem início com o aparecimento do primeiro botão floral e termina quando as fibras nos capulhos atingem o ponto de maturidade fisiológica para colheita (Tabela 1). Outra escala fenológica foi proposta por Marur e Ruano (2001), subdividindo o ciclo do algodoeiro em quatro fases: fase vegetativa (V), formação de botões florais (B), abertura de flores (F) e abertura de capulhos (C).

**Tabela 1. Escala fenológica do algodoeiro herbáceo**

Símbolo	DAS*	Denominação	Descrição
VE	6	Emergência	Saída do gancho da plântula (alça do hipocótilo), elevando os cotilédones acima do solo.
VC	7	Afastamento dos cotilédones	Exposição da gema apical vegetativa à radiação solar. Primeira folha enrolada entre os cotilédones.
V1	8	Primeiro nó vegetativo	Primeira folha cordiforme com 30% a 50% de expansão e segunda folha também em forma de coração aberta.
V2	8	Segundo nó vegetativo	Segunda folha cordiforme com 30% a 50% de expansão e primeira folha com lóbulos (lobada) aberta.
V3	14	Terceiro nó vegetativo	Primeira folha lobada com 30% a 50% de expansão e segunda aberta. Devido ao hábito de crescimento indeterminado, o algodoeiro tende a vegetar indefinidamente, emitindo sucessivos nós vegetativos com folhas lobadas. As cultivares anuais associadas ao ambiente e manejo completam o ciclo cultural entre V20 e V25.
VR		Primeiro ramo frutífero	A partir de V5 ou V6, surge o primeiro ramo frutífero (simpodial) com botão floral e folha correspondente fechados. Desta fase em diante, o algodoeiro acelera o crescimento e desenvolvimento vegetativo, emitindo novos ramos frutíferos (RF) nos nós vegetativos subsequentes.
R1		Primeiro botão floral	Primeiro botão floral (BF), com 5 mm de comprimento, encoberto pelas brácteas, na primeira posição do primeiro RF. Intensifica-se o acúmulo de matéria seca na planta. Na seqüência, surgem BFs na seguinte ordem (padrão espiral): 2º BF na primeira posição do 2º RF; 3º BF na segunda posição do 1º RF, e assim sucessivamente.
R2	40	Primeira flor	Início do florescimento com abertura da primeira flor, na primeira posição do 1º RF. Plantas entre V14 e V16. O florescimento prossegue seguindo o padrão espiral.
R3		Crescimento da primeira maçã	Início da frutificação. Primeira maçã com 1 cm de diâmetro, na primeira posição do 1º RF.
R4		Primeira maçã visível	Plantas em florescimento pleno fechando o dossel. Maçã visível na primeira posição do 1º RF, sobressaindo-se às brácteas, rica em água, macia ao tato e com sementes e fibras em desenvolvimento.
R5		Primeira maçã cheia	Primeira maçã na primeira posição do 1º RF, iniciando a pigmentação (antocianina), consistente ao tato, aquosa, com sementes e fibras imaturas (alongamento das fibras).
R6		Final do florescimento	Fertilização da última flor viável, isto é, que origine um capulho possível de ser colhido. Flor localizada a partir do 5º nó vegetativo (referência básica para manejo) do ponteiro para baixo. Planta com altura final definida (V20 a V25), predominando as maçãs.
R7		Primeiro capulho	Final da frutificação e maturidade fisiológica. Primeiro capulho na primeira posição do 1º RF. Translocação intensa devido à carga pendente. Acentuada queda de folhas a partir do baixeiro da planta. Final da deposição de celulose nas fibras, maturação das sementes e desidratação das maçãs cheias, consistentes e pigmentadas.
R8		Maturidade plena	Planta com 2/3 de desfolha, contendo 60% a 70% de capulhos. Colheita viável desde que a umidade nas fibras esteja entre 12% e 15%.

\*Dias após semeadura (valor médio de referência)

Fonte: Adaptado de Oosterhuis (1999) e Chiavegato e Câmara (2000).

O algodoeiro, apesar do complexo hábito de crescimento, segue um padrão de desenvolvimento que, por razões práticas de manejo e por demandas distintas do ambiente e do ciclo, pode ser subdividido em cinco estádios (Tabela 2): germinação e emergência da plântula, emergência ao primeiro botão floral, primeiro botão floral à abertura da primeira flor, primeira flor ao primeiro capulho, primeiro capulho à colheita (maturação e deiscência).

**Tabela 2. Duração média de cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro.**

Estádio	Duração (dias)
Germinação – Emergência	5 a 10
Emergência – Primeiro Botão Floral	30 a 35
Primeiro Botão Floral – Primeira Flor	20 a 25
Primeira Flor – Primeiro Capulho	50 a 55
Primeiro Capulho – Colheita	45 a 50

### Germinação e emergência

Quanto mais rápida a emergência das plântulas, maior a produção de algodão (WANJURA et al., 1969). A germinação das sementes tem início após a absorção de água, quando a semente atinge 52% de umidade, sob condições favoráveis de temperatura do solo (acima de 18°C). Na temperatura de 30°C, a hidratação da semente completa-se após 4 ou 5 horas (BENEDICT, 1984). Em condições de campo, a emergência da plântula ocorre entre 4 e 10 dias após a semeadura, variando com as condições de umidade e as condições físicas e químicas do solo e será tanto mais rápida quanto maior a temperatura. Um aumento na temperatura do solo de 15,6°C para 32,2°C resulta em maior e mais rápida expansão do hipocótilo e da radícula. Por outro lado, a expansão do hipocótilo e da radícula tende a ser menor com o aumento na umidade do solo (WANJURA; BUXTON, 1972).

### Desenvolvimento inicial

Nesta fase, a planta do algodoeiro prioriza o desenvolvimento do sistema radicular, enquanto o crescimento vegetativo inicial, por ocasião do aparecimento das primeiras folhas verdadeiras, é relativamente lento.

A radícula (raiz principal) penetra vigorosamente no solo, podendo atingir a profundidade de 25 cm no estágio em que os cotilédones encontram-se totalmente expandidos (TAYLOR; RATCLIFF, 1969), e pode continuar crescendo cerca de 1 a 5 cm por dia. No final desta fase e início do florescimento, o comprimento da raiz principal pode ser 2,5 vezes maior que a altura da planta (OOSTERHUIS; JERNSTEDT, 1999), podendo alcançar, ao longo do ciclo, mais de 2 m de profundidade. O crescimento da raiz principal segue uma típica curva sigmóide, sendo contínuo até a planta atingir a altura máxima, logo após o florescimento (TAYLOR; KLEPPER, 1974). As raízes secundárias (laterais) crescem horizontalmente a partir do terceiro e quarto dia após a emissão da radícula, continuando até o final do ciclo, podendo atingir cerca de 2 m de comprimento (TAYLOR; KLEPPER, 1978).

Temperatura e umidade têm grande influência no crescimento das raízes. Temperaturas elevadas, durante as primeiras semanas, podem prejudicar o crescimento das raízes e, a redução da umidade no solo, no início da fase vegetativa, proporciona maior crescimento do sistema radicular em relação à parte vegetativa – característica muito desejável nas lavouras não irrigadas.

## Desenvolvimento vegetativo

O crescimento vertical ocorre a partir da diferenciação e alongação da gema apical (meristema apical), dando origem a uma série de nós e internódios, em intervalos de 3 a 4 dias (Figura 2). Injúrias no meristema apical (tripes, granizo, doenças como ramulose, fitotoxicidade por agroquímicos) reduzem a dominância apical, estimulando a brotação das gemas laterais. Após 28 a 35 dias da emergência, surgem os ramos vegetativos (crescimento monopodial), em número de 1 a 3, e os ramos frutíferos ou reprodutivos (crescimento simpodial). O número de nós e o comprimento dos internódios são determinados geneticamente e por fatores do ambiente, incluindo práticas culturais (OOSTERHUIS; JERNSTEDT, 1999).

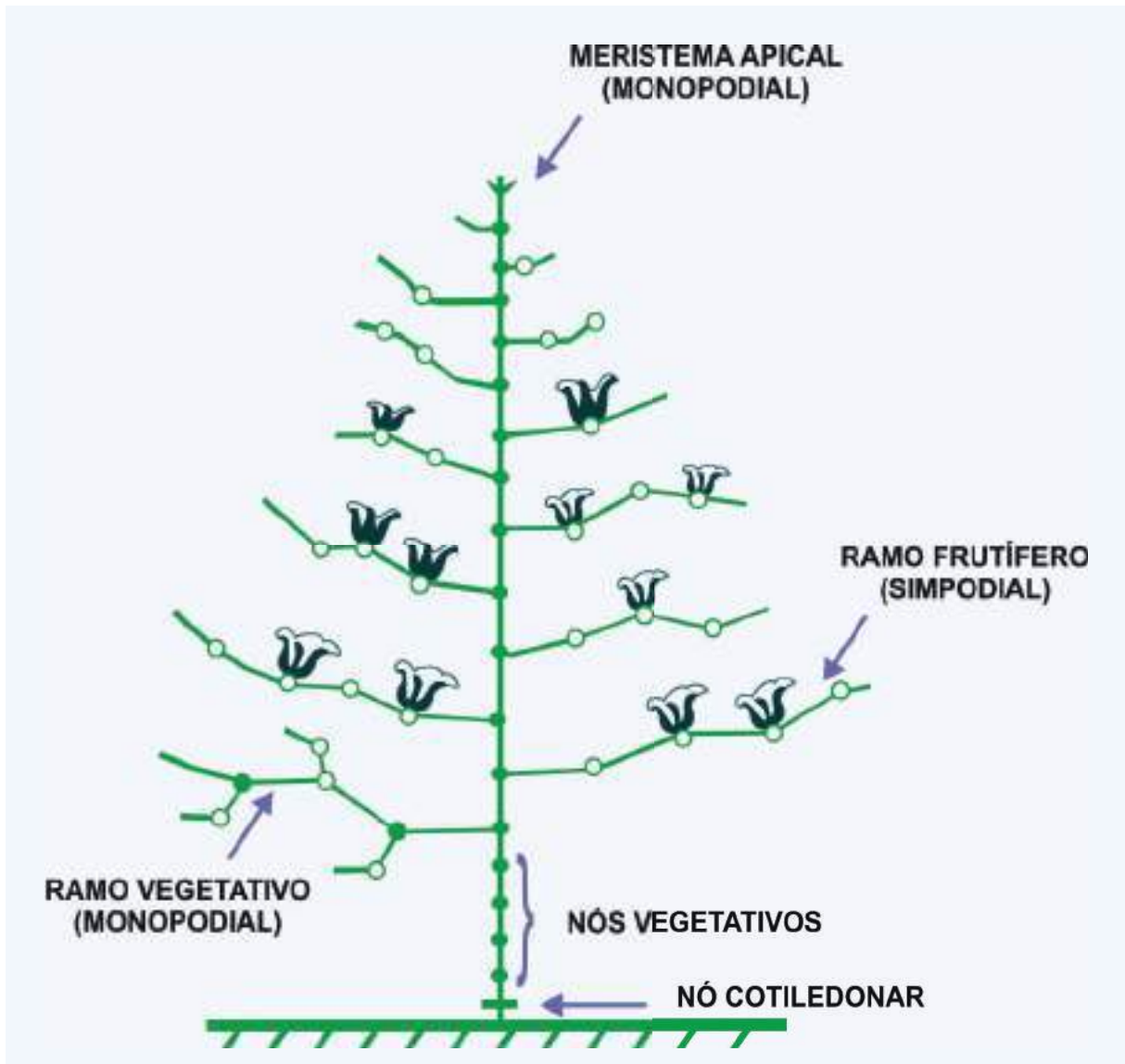


Figura 2. Diagrama de uma planta de algodoeiro, com a distribuição de nós e ramos. Adaptado de Oosterhuis (1999).

As folhas estão localizadas em cada um dos nós na haste principal, chamadas de “folhas da haste”, representando cerca de 60% do total de folhas na planta, e nos nós dos ramos frutíferos, chamadas de “folha do fruto”. As folhas da haste são responsáveis pelo crescimento dos ramos frutíferos e fornecem carboidratos aos frutos em desenvolvimento. A folha do fruto fornece carboidratos ao fruto presente no mesmo nó do ramo. Frutos localizados mais próximos à haste principal (primeiras posições) recebem mais carboidratos a partir da folha da haste do que os frutos em posições mais distantes no ramo.

O desenvolvimento do dossel se dá fundamentalmente em função da interceptação da luz e da temperatura, e segue uma curva sigmoideal típica, ou seja, a área foliar aumenta lentamente durante

os primeiros 35 a 40 dias após a emergência, e mais rapidamente durante o início do florescimento e frutificação. Normalmente, o fechamento do dossel ocorre aproximadamente aos 70 dias após a emergência, reduzindo a perda de água por evaporação do solo e limitando o desenvolvimento das plantas daninhas (OOSTERHUISS, 1999).

### **Desenvolvimento reprodutivo**

A fase reprodutiva tem início com o aparecimento do primeiro botão floral, entre 30 e 35 dias após a emergência, surgindo a primeira flor nos próximos 20 a 25 dias, completando esta fase com a deiscência do primeiro fruto (capulho). Esta fase é considerada crítica para a quantidade do algodão produzido. Os processos fisiológicos, durante esta fase, estão associados, principalmente, com a fotossíntese e a distribuição de carboidratos para o desenvolvimento dos frutos.

O algodoeiro possui um padrão particular de florescimento, tendo início com a antese da primeira flor, na primeira posição do primeiro ramo frutífero localizado mais baixo na planta. A partir deste ramo, as flores vão surgindo de maneira espiral ascendente, na planta. Quando as flores atingem o ápice da planta, grande parte de nutrientes e fotoassimilados são direcionados prioritariamente aos frutos em desenvolvimento, conseqüentemente reduzindo ou cessando a produção de flores. Este evento é denominado de ponto de maturidade fisiológica da planta, ou corte fisiológico, ou ainda “cut out”, como pode ser encontrado na literatura. Ou seja, considera-se ponto de maturidade fisiológica quando o suprimento de carboidratos é igual à demanda, cessando o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Esta é uma referência prática de manejo, porém teórica. Em termos práticos, assume-se ponto de maturidade fisiológica quando se observam 3 a 4 ramos frutíferos acima da flor mais alta na planta.

O período compreendido entre a deiscência do primeiro ao último fruto denomina-se fase de maturação e deiscência. Esta fase tem duração de cerca de 50 dias. Durante esta fase, ocorre o desenvolvimento (sementes e fibras) e abertura dos frutos. Conseqüentemente, é a fase responsável pela qualidade do algodão produzido (fibras e sementes).

O fruto atinge tamanho máximo entre 25 e 30 dias após a fertilização dos óvulos, e a completa maturação (maturidade fisiológica) ocorre de 40 a 45 dias após. Ou seja, o fruto atinge o ponto de maturidade fisiológica entre 7 e 15 dias antes da abertura, dependendo das condições climáticas (temperatura e umidade).

Na primeira fase de desenvolvimento do fruto, ocorre a alongação das fibras, as quais são formadas a partir de células individuais localizadas na epiderme das sementes. Na segunda fase (cerca de 25 dias após a fertilização), tem início a deposição de celulose em sucessivas camadas no interior das fibras, prolongando-se até a completa maturação do fruto. Durante a fase de alongação, define-se o comprimento da fibra e, na fase de deposição de celulose, define-se o diâmetro da fibra. A quantidade de celulose depositada determina as características da fibra, como a maturidade, a resistência e o índice micronaire (complexo entre a finura e a maturidade). Essas características definem as qualidades tecnológicas da fibra, e são fortemente dependentes da interação genótipo versus ambiente. Extremos de temperaturas e estresses hídricos prejudicam o desenvolvimento das fibras.

## **2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE**

Originalmente, o algodoeiro é uma planta de hábito perene, arbustiva, nativa de regiões tropicais e subtropicais com baixa pluviosidade. As formas anuais surgiram depois que o algodoeiro foi levado pelo homem para latitudes maiores, onde as formas perenes não tiveram possibilidade de sobrevivência, em virtude da estação fria.

As profundas alterações genéticas, por meio do melhoramento, permitem o cultivo do algodoeiro entre as latitudes 42° Norte e 30° Sul, porém em áreas que apresentem, durante o ciclo da cultura, cerca de 180 a 200 dias livres de geadas, com temperaturas médias superiores a 20°C, precipitações pluviais entre 500 e 1500 mm, e alta insolação.

Para a cultura do algodoeiro, o equilíbrio entre o crescimento vegetativo e reprodutivo é fundamental para a produção e qualidade da fibra. Este equilíbrio é diretamente influenciado pelas condições do ambiente (temperatura, luminosidade, umidade e fertilidade do solo) e de manejo (densidade de plantas, espaçamento entre linhas, nutrientes, reguladores de crescimento).

## 2.1 Disponibilidade hídrica

Os solos mais propícios ao cultivo do algodoeiro são os mais profundos, de textura média, ricos em matéria orgânica, permeáveis, bem drenados e férteis. No entanto, o algodoeiro é uma planta com ampla adaptação a condições não tão favoráveis, desde que sejam feitas as devidas correções para atender às necessidades básicas ao desenvolvimento. (GARCIA-LORCA; ORTEGA, 1991).

O manejo do solo e o sistema de produção das culturas podem modificar o regime hídrico do solo, prejudicando gradativamente a capacidade de retenção de água. A capacidade de infiltração e retenção de água, para utilização das plantas, depende de uma série de propriedades do solo, como densidade, porosidade, distribuição e tamanho dos poros. E essas propriedades dependem, por sua vez, da existência ou não de agregados, de sua estabilidade e do teor de matéria orgânica, características que são afetadas pelos diferentes sistemas de manejo. Assim, a infiltração de água é um fator determinante na produção das culturas (MEDEIROS et. al., 1999).

A profundidade efetiva do sistema radicular (Ze) do algodoeiro é de 30 cm, faixa em que se concentra de 83% a 89% das raízes (CAVALERI; INFORZATTO, 1956). Em solos sem problemas de impedimentos químicos ou físicos, a raiz principal ou pivotante do algodoeiro pode alcançar até 2 metros de profundidade (BASSET et al., 1970). A radícula, sob condições de baixas temperaturas e aeração do solo, tem o crescimento paralisado, originando um sistema superficial de raízes secundárias (McARTHUR et al., 1976). Solos muito rasos, pedregosos, demasiadamente argilosos e pouco permeáveis devem ser evitados, pela dificuldade de correção por ações de manejo. Áreas ou solos sujeitos ao encharcamento também devem ser descartadas, pois o algodoeiro não suporta ambiente sem oxigênio.

As necessidades hídricas do algodoeiro variam com os estádios fenológicos, em função do desenvolvimento da fitomassa. No estágio inicial de desenvolvimento, logo após a emergência, há necessidade de menores quantidades de água, requerendo-se maiores quantidades durante o florescimento, quando ocorre o pico de demanda hídrica.

A eficiência global de uso de água para o rendimento de algodão em caroço, contendo em torno de 10% de umidade, é de 0,4 a 0,6 kg/m<sup>3</sup>. Em se tratando de cultivares de ciclo médio, a eficiência de uso de água é da ordem de 0,47 kg/m<sup>3</sup> a 0,66 kg/m<sup>3</sup>, no semi-árido brasileiro (BELTÃO; AZEVEDO, 1993). Excessos de água e de nutrientes, associados a temperaturas elevadas, proporcionam aumento na formação de ramos vegetativos e redução da formação de ramos frutíferos e, conseqüentemente, de flores e frutos; por isso, em alguns casos, é recomendável que a cultura seja submetida a um estresse hídrico mínimo antes do florescimento.

A quantidade de água necessária para atender às necessidades hídricas do algodoeiro pode variar entre 500 e 1500 mm, dependendo do clima e da duração do período total de crescimento. Para cultivares de ciclo curto (120 a 130 dias) e médio (140 a 160 dias), a quantidade de água necessária para completar o ciclo pode variar entre 500 mm e 700 mm. Porém, para o algodoeiro, não é suficiente apenas a quantidade de água. Mais importante é que a distribuição de água seja adequada para atender às demandas específicas em cada estágio fisiológico. Em algodoeiro, a fase mais crítica e sensível ao estresse hídrico está entre o florescimento e a frutificação. Déficit hídrico capaz de reduzir 50% da evapotranspiração pode significar redução na produtividade da ordem de 28 a 45%. (DOORENBOS, 1979). Suprimento adequado de água, em equilíbrio com os demais fatores de produção, estimula tanto o crescimento dos ramos vegetativos quanto dos ramos frutíferos, resultando em elevadas produtividades.

Na tabela 3 são apresentados valores médios de evapotranspiração diária para cada fase do desenvolvimento da planta.



**Tabela 3. Valores médios de evapotranspiração diária para cada fase de desenvolvimento da planta de algodoeiro.**

Estádio de desenvolvimento	Necessidade hídrica diária (mm)
Semeadura	Maior que zero
Desenvolvimento vegetativo	1 a 2
Primeiro botão floral	2 a 4
Fase reprodutiva	3 a 8
Pico de florescimento	8
Primeiro capulho	8 a 4
Fase de maturação	4

Fonte: Freeland Jr. et al. (2006).

A necessidade de água representada pela evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>), em relação à evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), é estimada para cada etapa do desenvolvimento das plantas utilizando-se o respectivo coeficiente de cultivo (k<sub>c</sub>), através da equação: ET<sub>m</sub> = k<sub>c</sub> x ET<sub>o</sub>. Na tabela 4 encontram-se os valores de k<sub>c</sub> para cada fase de desenvolvimento da cultura.

**Tabela 4. Coeficiente de cultivo para cada fase do desenvolvimento do algodoeiro.**

Período inicial (15 a 25 dias)	Desenvolvimento vegetativo	Gemas e floração	Maturação dos capulhos	Final de ciclo e colheita
0,4	0,7	1,05	0,8	0,65

Fonte: Doorenbos et al. (1979).

Pelo fato de o algodoeiro apresentar complexo desenvolvimento, no tempo e no espaço, é fundamental que haja equilíbrio entre os principais condicionantes climáticos e de manejo, para que seja obtido um balanço adequado entre o crescimento vegetativo e reprodutivo. Excesso de desenvolvimento vegetativo retarda a maturação do algodoeiro e aumenta os problemas com pragas, doenças e podridões de frutos no terço médio e inferior das plantas. Por outro lado, excesso de frutificação pode antecipar o ciclo da cultura, diminuindo a produção (menor massa dos frutos) e a qualidade da fibra (fibras imaturas).

Como a sequência de abertura das flores segue um padrão em espiral ascendente na planta, a ocorrência de adversidades em relação ao regime térmico ou hídrico, ou estresse de qualquer outra natureza – como ventos, extremos de temperatura e umidade, nebulosidade excessiva, deficiência nutricional, dentre outros – faz com que a planta reaja com a abscisão de botões florais e frutos novos. Isto altera o padrão normal de florescimento e, conseqüentemente, toda a sequência de formação de frutos, com mudanças significativas na duração dos estádios fenológicos, prolongando o ciclo da cultura.

A sensibilidade dos botões florais e dos frutos novos ao estresse hídrico varia ao longo de seus períodos de desenvolvimento. O estresse hídrico, durante os primeiros 15 dias após o início de desenvolvimento dos botões florais, ou 15 dias após a antese, resulta na abscisão dessas estruturas jovens. Segundo estudos realizados por El-Zik (1980) e El-Zik e Frisbie (1985), 80% das maçãs retidas nas plantas resultam dos primeiros dias de florescimento, entre 21 e 42 dias, demonstrando a importância da não ocorrência de limitações de temperatura e suprimento hídrico durante este período.

A maior parte da água absorvida pelas raízes do algodoeiro é perdida pela transpiração, no momento em que ocorrem as trocas gasosas no estômato, durante a captação do CO<sub>2</sub>. O controle estomático permite a adaptação do algodoeiro às variações do ambiente como radiação, estresse hídrico, entre outros, que ocorrem durante o ciclo da cultura (SOUZA; BELTRÃO, 1999). Aproximadamente 1% da água extraída do solo é utilizada no metabolismo. Porém, as taxas de consumo de água entre as diferentes espécies de algodoeiro apresentam comportamentos diferentes.

## 2.2 Temperatura

A faixa de temperatura do solo, considerada ótima para a germinação e emergência do algodoeiro, é de 25°C a 30°C. Temperaturas abaixo de 20°C, combinadas com umidade no solo, podem reduzir a velocidade de crescimento da raiz, potencializando a ocorrência de doenças de plântulas. Após a sementeira, é recomendável que a temperatura esteja acima de 21 °C durante, pelo menos, cinco dias consecutivos, para garantir o rápido desenvolvimento da radícula, pois má formação do sistema radicular leva ao desenvolvimento de plantas com maior suscetibilidade a problemas de estresse por seca (OOSTERHUIS, 1999). Sob temperaturas muito baixas (11°C a 12°C), a germinação pode ter início, porém o processo não se completa. Por outro lado, temperaturas elevadas, em torno de 40°C, são prejudiciais à germinação, podendo paralisar a emergência das plântulas (PARRY, 1982).

O algodoeiro possui mecanismos de ajustes que possibilitam o seu cultivo em regiões com temperaturas entre 18°C e 40°C, porém a faixa ideal é de 20°C a 30°C (REDDY et al., 1991). É, ainda assim, uma planta muito sensível à temperatura, sendo esta a variável que mais interfere no desenvolvimento da cultura, afetando significativamente a fenologia, a expansão foliar, a alongação dos internódios, a produção de biomassa e a partição dos assimilados pelas diferentes partes da planta, entre outros aspectos.

A maioria das cultivares de algodoeiro requer mais de 150 dias com temperaturas acima de 15°C (temperatura-base) para produzir satisfatoriamente, com paralisação do metabolismo em temperaturas inferiores à basal. Além disso, é bastante sensível a condições mais frias e, principalmente, geadas (FREELAND et al., 2006). Em temperaturas entre 10 e 12°C, o algodoeiro apresenta forte redução na taxa respiratória. No outro extremo, em temperaturas altas, a morte da planta ocorre em valores próximos a 55°C (EI-SHARKAWAY; HESKETH (1964), LYONS; RAISON (1979)).

Temperaturas inferiores a 20°C, durante o desenvolvimento do fruto, reduzem o comprimento da fibra e outras características tecnológicas dependentes da deposição de celulose, devido à redução do metabolismo celular, que envolve as organelas comprometidas na síntese dos componentes da fibra, dos quais a celulose é o mais importantes, representando mais de 94% da fibra madura (BELTRÃO; AZEVEDO, 1993). Na Tabela 5 estão discriminados os limites de temperaturas, para as diferentes fases do algodoeiro herbáceo.

**Tabela 5. Limites de temperatura para as diferentes etapas do algodoeiro.**

Etapas desenvolvimento	Limite mínimo	Limite ideal	Limite máximo
Germinação	14°C	18 a 30°C	40°C
Formação de gemas e floração	Diurna 20°C Noturna 12°C	30 °C	Diurna 40°C Noturna 27°C
Desenvolvimento e maturação dos frutos	20°C	27 a 32°C	38°C

Fonte: EMBRAPA (2006).

A temperatura tem influência significativa na formação e desenvolvimento de botões florais, flores, fibras e no crescimento e desenvolvimento dos frutos. Altas temperaturas noturnas (25°C) retardam o florescimento e, baixas temperaturas noturnas (20°C) combinadas com temperatura diária ao redor de 25°C, estimulam o florescimento.

Com relação ao desenvolvimento da fibra, a qualidade final depende de complexas interações entre o componente genético, processos fisiológicos e características do ambiente, durante o ciclo da cultura. O desenvolvimento da fibra responde a variações do macro e microambientes (Bradow et al. 1996), ou seja, diferenças microambientais dentro do fruto e do dossel da planta têm efeitos significativos nas propriedades das fibras produzidas, isto é, as variações ocorrem na mesma planta, na mesma área de produção e no mesmo ano (BRADOW; DAVIDONIS, 2000).

Temperatura elevada durante o período de desenvolvimento das fibras tem grande influência na expressão do genótipo quanto às propriedades da fibra produzida. Rahman et al. (2007) observaram que características como o comprimento, a uniformidade e a finura da fibra são favorecidas quando produzidas sem estresse térmico (temperaturas elevadas).

Krieg e Sung (1986) determinaram que as melhores taxas de fotossíntese bruta são obtidas a 32°C, enquanto a taxa de fotossíntese líquida diminui a partir dos 22°C.

Sob temperaturas elevadas, ocorre também o aumento da taxa respiratória e conseqüentemente a fotorrespiração, característica das plantas do tipo C3, como é o caso do algodoeiro. A fotorrespiração ocorre com menor intensidade quando a temperatura ambiente se encontra abaixo de 25°C, porém pode representar aproximadamente 50% da fotossíntese aparente quando a temperatura alcança 35°C, tornando a assimilação líquida ineficiente. Em termos práticos, ocorrendo em qualquer fase de desenvolvimento, pode significar comprometimento da demanda de fotoassimilados e, conseqüentemente, comprometimento da produção final.

Apesar de existirem inúmeros dados quanto às faixas de temperaturas ideais para o desenvolvimento do algodoeiro, em seus distintos estádios, a quantificação de unidades de calor (graus-dia) requeridas em cada fase do desenvolvimento (Tabela 6) vem recebendo atenção de pesquisadores e técnicos como ferramenta de pesquisa e manejo da cultura. O cálculo das unidades de calor acumuladas até um determinado estádio e a quantidade necessária para completar determinada fase podem auxiliar no acompanhamento do ciclo e na recomendação da melhor estratégia de manejo (OOSTERHUIS, 1999).

**Tabela 6. Unidades de calor (graus-dia) requeridas para cada fase de desenvolvimento do algodoeiro (Temperatura basal, 15,5°C).**

Estádio de desenvolvimento	Unidades de Calor (graus-dia)
Semeadura à emergência	25 a 35
Emergência ao primeiro ramo frutífero	165 a 190
Emergência ao primeiro botão floral	235 a 265
Primeiro botão à primeira flor branca	165 a 195
Emergência ao pico de florescimento	770 a 795
Primeira Flor ao primeiro capulho	415 a 610
Semeadura à colheita	1165 a 1250

Fonte: Freeland et al. (2006); Young et al. (1980).

No Brasil, Rosolem (2007) determinou a quantidade de graus-dia requerida pela cultivar Deltapine Acala 90 durante o ciclo da cultura, nas principais regiões produtoras, conforme dados apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7. Número de graus-dia e dias para o ciclo do algodoeiro em três regiões algodoeiras do Brasil, Estado do Mato Grosso (MT) e Bahia.**

Estádio de crescimento	Graus-dia °C.dia	Dias		
		MT Sudeste	MT Meio Norte	Bahia Oeste
Emergência ao primeiro botão floral	360	31	34	36
Primeiro botão à primeira flor	270	22	26	27
Primeira flor ao primeiro capulho	620	58	67	63
Emergência ao primeiro capulho	1350	115	135	133
Flor branca no quinto ramo frutífero à colheita	620	64	64	69
Emergência à colheita	1970	179	199	202

Fonte: Rosolem (2007).

### 2.3 Radiação Solar

O algodoeiro é uma planta de metabolismo fotossintético tipo C3, apresentando alta taxa de fotorrespiração e baixa eficiência na captação de CO<sub>2</sub> (BELTRÃO; AZEVEDO, 1993).

Em condições apropriadas de luz solar, o algodoeiro apresenta uma taxa máxima de absorção de CO<sub>2</sub>, em torno de 40 a 50 mg CO<sub>2</sub>.dm<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> (BELTRÃO; AZEVEDO, 1993). A atividade fotossintética da folha não é constante ao longo do tempo. A duração média de uma folha é de cerca de 65 dias, porém a máxima capacidade fotossintética é atingida ao redor de 20 dias de idade, quando passa a declinar sensivelmente. Ou seja, em algodoeiro, não há sincronismo entre o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Quando aumenta a demanda por fotoassimilados devido ao aumento no número de estruturas reprodutivas e de frutos em desenvolvimento, as folhas encontram-se envelhecidas e com baixa capacidade fotossintética (OOSTERHUIS; JERNSTEDT, 1999; RITCHIE et. al, 2008). Conseqüentemente, qualquer evento que promova a senescência da cultura (estresse hídrico, baixa fertilidade, pragas e doenças dentre outros) reduz a capacidade fotossintética, comprometendo a produção e a qualidade da fibra.

Valores diversos têm sido reportados para máxima fotossíntese em algodoeiro. Essas diferenças são atribuídas às inconsistências nas determinações e às condições sob as quais as plantas ou culturas são avaliadas. A peculiar estrutura foliar do algodoeiro dificulta tais determinações (COTHREN, 1999).

Para que a planta mantenha elevadas taxas fotossintéticas durante seu ciclo, é recomendável que a nebulosidade seja inferior a 50%, sem ocorrência de inversão térmica, isto é, dias muito quentes e noites muito frias, e inexistência de alta umidade relativa associada a altas temperaturas. A correlação entre massa seca e radiação interceptada tem sido descrita como linear (SINCLAIR; MUCHOW, 1999; GONIAS, et al., 2008).

Sob baixas condições de luminosidade, as plantas produzem menor quantidade de frutos, e fibra de qualidade inferior, principalmente com baixo índice micronaire. A baixa qualidade da fibra está associada à diminuição nos níveis de carboidratos, indicativo da redução no nível de fotoassimilados produzidos sob baixa condição de radiação solar (FREELAND Jr. et al., 2006).

O uso de reguladores de crescimento é uma prática muito comum na cultura do algodoeiro, como estratégia de manejo, para adequar o crescimento vegetativo e o dossel das plantas, e auxiliar na eficácia do uso da radiação solar (GONIAS, et al., 2008).

### 2.4 Fotoperíodo

As atuais cultivares de algodoeiro são consideradas insensíveis (neutras) às variações de fotoperíodo. Desta maneira, o desenvolvimento é determinado pela temperatura (MAUNEY, 1966), razão pela qual o acúmulo de graus-dia pode ser utilizado para estimar os estádios fenológicos durante o ciclo da cultura (HEITHOLT, 1999).

## 2.5 Vento

Ocorrência de ventos aumenta a demanda evaporativa e produz danos mecânicos e fisiológicos, podendo afetar o crescimento do algodoeiro, sendo os efeitos mecânicos mais prejudiciais (BARKER et al., 1985), tendo como resultado final a redução de produtividade.

Rajadas de vento podem ser prejudiciais entre 3 e 6 semanas após a emergência, pois a partícula de solo tem efeito abrasivo, podendo danificar as folhas e o caule jovem das plântulas, favorecendo a entrada de patógenos (FREELAND et al., 1999).

O efeito abrasivo provocados pelo vento reduz o crescimento das plantas pelos danos causados no tecido foliar, com redução na fotossíntese, aumento na respiração e, possivelmente, estresse hídrico pela perda de água por danos na cutícula e, ou, controle estomático comprometido (BAKER, 2007). O mesmo autor observou, ainda, que a completa desfolha das plantas, aproximadamente aos 30 dias após a emergência, pode não exigir replantio devido à capacidade de recuperação destas.

Em áreas com excesso de ventos, uma prática recomendada seria a utilização de quebra-ventos ao redor e entre as áreas de cultivo do algodoeiro, auxiliando na diminuição da velocidade do vento e, conseqüentemente, mantendo normalizada a demanda evaporativa das plantas. (BARKER et al., 1985).

## 3. EVENTOS ADVERSOS

No estágio inicial de desenvolvimento, as plantas são mais sensíveis a eventos extremos, podendo inclusive ocorrer morte de parte significativa da população de plantas. Após o estabelecimento da cultura e durante o crescimento vegetativo, essa vulnerabilidade é menor devido ao hábito de crescimento indeterminado e a alta plasticidade fenotípica do algodoeiro. Estas características conferem à planta uma elevada capacidade para recuperar-se de danos, através da emissão de novos ramos, folhas e estruturas reprodutivas.

Durante a fase reprodutiva, o risco à produção volta a crescer, devido à vulnerabilidade das estruturas reprodutivas, especialmente nas fases iniciais de formação. O algodoeiro apresenta, naturalmente, alta taxa de abscisão de botões florais e frutos novos (cerca de 60 a 70% do total produzido). Intensamente estudado, este fenômeno é conhecido na literatura como *shedding* e é resultado de eventos fisiológicos, acentuando-se em condições adversas do ambiente como, por exemplo, vários dias nublados, extremos de temperatura, excesso ou escassez de umidade no solo, deficiência nutricional, alta densidade de plantas e danos por insetos e patógenos.

### 3.1 Granizo e chuva intensa

Chuvas intensas são particularmente importantes na fase inicial de implantação da cultura, e por ocasião da colheita. A ocorrência, na fase de emergência das plântulas, pode causar falhas expressivas no estande, devido ao soterramento das sementes e à formação de crosta na superfície do solo, levando à necessidade de replantio. Na colheita, pode provocar a queda de fibras dos capulhos.

Os efeitos provocados por chuva muito forte e por granizo não são bem conhecidos nesta cultura, o que torna difícil relacionar intensidade do evento à extensão dos danos na cultura. A ocorrência de granizo na cultura é especialmente danosa na fase reprodutiva, por provocar a queda de botões florais, flores e frutos novos.

### 3.2 Seca e veranico

Estresses hídricos e extremos de temperatura podem causar bloqueio antecipado no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, restringindo a formação de novos ramos frutíferos, reduzindo conseqüentemente a produção e a qualidade da fibra (GRIMES; EL-ZIK, 1990), ou seja,

antecipando o ponto de maturidade fisiológica e reduzindo, conseqüentemente, o ciclo da cultura.

Estresse hídrico na fase inicial do florescimento pode ocasionar estímulo à taxa de floração, devido ao aumento de fitorreguladores endógenos. (GUINN, 1979). Porém, se o estresse ocorrer durante 20 a 30 dias após a antese pode resultar em frutos menores e diminuição do peso das sementes (GUINN, 1998). Déficit hídrico pode reduzir o crescimento da planta, com conseqüente redução da área foliar.

Em relação à qualidade da fibra, o estresse por falta de água pode causar redução no comprimento da fibra e, dependendo da severidade e da fase de desenvolvimento da planta, pode contribuir para o aumento ou diminuição do índice micronaire. Se a seca for severa no final do ciclo, o índice micronaire poderá ser reduzido e, se ocorrer durante o pico de florescimento, poderá reduzir o número de frutos. Porém, se ocorrerem chuvas durante o período de maturação dos frutos, sobretudo com número reduzido de maçãs nas plantas, poderá haver aumento médio do índice micronaire (FREELAND Jr. et al., 2006).

Os efeitos diretos do estresse hídrico nas plantas é o fechamento dos estômatos para evitar a perda de água. Com o fechamento dos estômatos, a fotossíntese é prejudicada, havendo diminuição na produção de fotoassimilados. Com a redução na atividade fotossintética, ocorre a senescência de folhas, diminuindo a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, a produção de flores. A dimensão destas perdas é variável, em função da duração e época de ocorrência do estresse.

### 3.3 Vento intenso

Em casos de vento muito intenso pode ocorrer acamamento de plantas, o que, em qualquer fase de desenvolvimento, é muito prejudicial, pois a planta acamada tem sua produção prejudicada de várias formas.

Plantas em florescimento, quando acometidas por rajadas de vento, perdem muitas estruturas frutíferas; além disso, plantas acamadas têm seu metabolismo modificado, prejudicando a produção e partição de fotoassimilados. Quando na fase de abertura dos frutos, perdem em qualidade da fibra, devido a impurezas resultantes do contato das fibras com o solo.

### 3.4 Geadas

O algodoeiro é uma espécie que se desenvolve melhor em regiões quentes e é extremamente sensível a baixas temperaturas, não suportando geadas em qualquer fase do ciclo.

A ocorrência frequente de baixas temperaturas, em uma região ou local, pode constituir-se na maior limitação do ambiente ao crescimento e produtividade da cultura.

### 3.5 Chuva excessiva e, ou, excesso hídrico prolongado

A concentração de oxigênio no solo é um fator indispensável à germinação das sementes. Nesse caso, o excesso de água no solo e solos compactados, que favorecem a baixa concentração de oxigênio, limitam fortemente o crescimento da radícula, podendo paralisá-la completamente, em condições extremas. Apesar da inexistência de estudos específicos, observações de campo indicam que o algodoeiro é bastante sensível ao excesso hídrico.

Em caso de ocorrência de chuvas contínuas durante a floração, pode ocorrer o comprometimento da polinização.

Se as chuvas ocorrerem continuamente, durante a abertura das maçãs, pode haver comprometimento da qualidade da fibra, especialmente quanto à resistência e espessura, importantes características nos processos de fiação e tecelagem. Assim, a época de semeadura deve ser programada rigorosamente, de modo a evitar estresses hídricos durante o florescimento e excesso de precipitações pluviais no final do ciclo, de forma a possibilitar perfeita desidratação do fruto e sua completa deiscência.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as práticas recomendadas para minimizar a possibilidade de riscos em relação ao clima, três estratégias merecem destaque:

- manutenção de programas de melhoramento genético regional;
- utilização de cultivares adaptadas à região de cultivo;
- respeito rigoroso às épocas recomendadas para a semeadura, em cada região.

Além das estratégias acima mencionadas, a utilização de cultivares de ciclo mais curto também pode ser muito vantajosa. Quanto menor o ciclo, menor o tempo em que cultura permanece exposta à ação de pragas e doenças – que naturalmente se agrava com o passar do tempo, devido ao aumento das populações de pragas e patógenos. Outro aspecto positivo é que se torna mais fácil coincidir o ciclo da cultura com as melhores condições agrometeorológicas da estação.

O uso de sementes saudáveis e com tratamentos químicos para as principais pragas e doenças de início de ciclo proporciona germinação e emergência mais rápida e, conseqüentemente, maior vigor às plântulas e plantas, minimizando possíveis situações de estresses durante o estabelecimento e desenvolvimento da cultura.

O manejo adequado da fertilidade e da umidade do solo proporciona às plantas melhores condições para suportar possíveis estresses de ordem climática.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- BAKER, J. T. Cotton seedling abrasion and recovery from wind blown sand. *Agronomy Journal*, Madison, v. 99, p. 556-561, 2007.
- BARKER, G. L.; HATFIELD, J. L.; WANJURA, D. F. Cotton phenology parameters affected by wind. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 12, p. 33-47, 1985.
- BASSET, D. M.; STOCKTON, J. R.; DICKENS, W. L. Root growth of cotton as measured by P32 uptake. *Agronomy Journal*, Madison, v. 60, p. 200-203, 1970.
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. Defasagem entre as produtividades real e potencial do algodoeiro herbáceo: limitações morfológicas, fisiológicas e ambientais. *Campina Grande: Embrapa-CNPA*, 1993. 108 p. (Embrapa-CNPA. Documentos, 39).
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G. Fitologia do algodão herbáceo In: BELTRÃO, N. E. M.; BARRETO, A. N.; SILVA, C. A. D. O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 1999. cap. 3, p. 55-86.
- BENEDICT, C. R. Physiology. In: KOHEL, R. J.; LEWIS, C. F. Cotton. Washington, DC: American Society of Agronomy, 1984. p. 151-200.
- BERDNARZ, C. W.; NICHOLS, R. L. Phenological and morphological components of cotton crop maturity. *Crop Science*, Madison, v. 45, p. 1497-1503, 2005.
- BRADOW, J. M. et al. Environmentally induced variations in cotton fiber maturity and related yarn and dyed knit defects. In: BELTWISE COTTON CONFERENCES, 1996, Nashville. Proceedings... Cordova: National Cotton Council Memphis, 1996. p. 1279-1284.
- BRADOW, J. M.; DAVIDONIS, O. Quantification of fiber quality and the cotton production-processing interface: a physiologist's perspective. *Journal of Cotton Science*, Lubbock, v. 4, p. 34-64, 2000.
- CAVALERI, P. A.; INFORZATTO, R. Estudo do sistema radicular do algodoeiro nos tres principais tipos de solo no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 15, p. 337-346, 1956.
- CHRISTIANSEN, M. N.; MOORE, R. P. Seed coat structural differences that influence water uptake ad seed quality in hard seed cotton. *Agronomy Journal*, Madison, v. 51, p. 582-584, 1959.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2009.
- COTHREN, J. T. Physiology of the cotton plant. In: SMITH, C.W.; COTHREN, J. T. (Ed.). Cotton: origin, history, tecnologia and production. New York: John Wiley, 1999.
- DOORENBOS, J. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Riego y drenage, 33).
- EHLIG, C. F.; LeMERT, R. D. Effects of fruit, temperature, and relative humidity on boll retention of cotton. *Crop Science*, Madison, v.13, p. 168-171, 1973.
- EL-SHARKAWY, M.; HESKETH, J. Photosynthesis among species in relation to characteristics of leaf anatomy and CO2 diffusion resistences. *Crop Science*, Madison, v. 5, p. 517-521, 1965.
- EMBRAPA. Cultivo do algodoeiro irrigado. Brasília, DF: Embrapa, 2006. (Embrapa Algodão. Sistemas de Produção, v.3).
- FREELAND, T. B. et al. Agrometeorology and cotton productions. Washington, DC: United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service, 2006. 17 p.
- GARCIA-LORCA, D. R.; ORTEGA, J. M. C. El algodón. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 242 p.
- GONIAS, E. D.; OOSTERHUIS, D. M.; BIBI, A. C. Radiation use efficiency in cotton: Effect of environment and plant growth regulators. In: BELTWISE COTTON CONFERENCES, 2008, Nashville. Proceedings... Cordova: National Cotton Council Memphis, 2008. p. 22.
- GRIMES, D. W.; EL-ZIK, K. M. Cotton. In: STUART, B. A.; NIELSEN, D. R. Irrigation of agricultural crops. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1990. p. 741-773. (Agronomy, 30).
- GUINN, G. Hormonal in flowering, fruiting and cut-out. In: BELTWISE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE, 1979, Phoenix. Proceedings...Cordova: National Cotton Council, 1979. p. 265-276.
- HAFEEZ UR, R.; MURTAZA, N.; SHAH, M. K. N. Study of cotton fibre traits inheritance under different temperature regimes. *Journal Agronomy & Crop Science*, [S.I.], 193, p. 45-54, 2007.
- HEITHOLT, J. J. Cotton: Factors associated with assimilation capacity, flower production, boll set, and yield. In: SMITH, D. L.; HAMEL, C. (Ed.). Crop yield, physiology and processes. Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. p. 235-269.

- HESKETH, J. Effect of light and temperature during plant growth on subsequent leaf CO<sub>2</sub> assimilation rates under standard conditions. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, v. 21, p. 235-241, 1968.
- HONS, F. M.; McMICHAEL, B. L. Planting pattern effects on yield, water use, and root growth of cotton. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.13, p. 147-159, 1986.
- KERBY, T. A.; HAKE, K. Monitoring cottons growth. In: KERBY, T. A.; HAKE, K. (Ed.). *Cotton productions*. Oakland: ANR Publications, 1993.
- KRIEG, D. R.; SUNG, J. F. M. Source-sink relations as affected by water stress during boll development. In: MAUNEY, J. R.; STEWART, J. M. *Cotton physiology*. Memphis: The Cotton Foundation, 1986. p. 73-77.
- LYONS, J.; RAISON, J. K. Oxidative activity of plant tissues sensitive and resistant to chilling injury. *Plant Physiology*, Minneapolis, v. 45, p. 386-389, 1970.
- MAUNEY, J. R. Floral initiation in upland cotton *Gossypium hirsutum* L. in response to temperatures. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 17, p. 452-459, 1966.
- MCARTHUR, J. A.; HESKETH, J. D.; BAKER, D. N. Cotton. In: EVANS, L. T. *Crop physiology: Some case histories*. Cambridge University Press, 1976. p. 297-325.
- McMICHAEL, B. L. et al. Growth and development of root systems. In: STEWART, J. M.; OOSTERHUIS, D. M.; HEITHOLT, J. (Ed.). *Cotton physiology*. Memphis: National Cotton Council, 1999. v. 2.
- MEDEIROS, J. C.; DA SILVA, O. R. R. F.; CARVALHO, O. S. Edafologia. In: BELTRÃO, N. E. M.; BARRETO, A. N.; SILVA, C. A. D. *O agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília, DF: EMBRAPA, 1999. cap.5, p. 117-171.
- OOSTERHUIS, D. M. Growth and development of cotton plant. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. *Cultura do algodoeiro*. Piracicaba: Potafos, 1999. p. 35-55.
- OOSTERHUIS, D. M.; JERNSTEDT, J. Morphology and anatomy of the cotton plant. In: SMITH, C. W.; COTHREN, J. T. (Ed.) *Cotton: origin, history, technology and production*. New York: John Wiley, 1999.
- PAIVA, F. A.; ASMUS, G. L.; ARAÚJO, A. E. Doenças. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. *Algodão: tecnologia de produção*. Dourados, 1999. p. 245-272.
- PARRY, G. *Le cotonnier et ses produits*. Paris: Maisonneuve & Larose, 1982. 502 p.
- PEDRO JUNIOR, M. J. Aspectos microclimáticos e epidemiologia. In: CURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, 3., 1989, Campinas. *Resumos...* Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. 13 p.
- POPINIGIS, F. *Fisiologia da semente*. Brasília, DF: AGIPLAN, 1977. 289 p.
- RITCHIE, G. L. et al. *Cotton growth and development*. Athens: University of Georgia, 2008. 23 p.
- ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. *Algodão no cerrado do Brasil*. Brasília, DF: ABRAPA, 2007. p. 649-688.
- SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 65, p. 216-265, 1999.
- SOUZA, J. G. Influência do déficit hídrico na concentração de prolina livre e no crescimento de algodão. 1977. 68 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Ceará, Departamento de Fitotecnia, Fortaleza.
- TAYLOR, H. M.; KLEPPER, B. Water relations of cotton. 1. Root growth and water use as related to top growth and soil water content. *Agronomy Journal*, Madison, v. 66, p. 584-588, 1974.
- TAYLOR, H. M.; KLEPPER, B. The role of rooting characteristics in the supply of water to plants. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 30, p. 99-128, 1978.
- TAYLOR, H. M.; RATCLIFF, L. F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Science*, Baltimore, v. 108, p. 113-119, 1969.
- WANJURA, D. F., HUDSPETH JUNIOR, E. B., BILBRO JUNIOR, J. D. Emergence time, seed quality, and planting depth effects on yield and survival of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Agronomy Journal*, Madison, v. 61, p. 63-65, 1969.
- WANJURA, D. F.; BUXTON, D. R. Hypocotyl and radical of cotton as affected by soil environment. *Agronomy Journal*, Madison, v. 64, p. 431-434, 1972.
- YOUNG JUNIOR, E. F., TAYLOR, R. M.; PETERSON, H. D. Day-degree units and time in relationship to vegetative development and fruiting for three cultivars of cotton. *Agronomy Journal*, San Diego, v. 20, p. 270-274, 1980.







# AMENDOIM

*Foto: Andrey Volodov*



## 1. INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogea* L.) é planta nativa da América do Sul, incluindo o Brasil Central, especificamente a região oeste do Estado do Mato Grosso, e o Paraguai (Cummis, 1986). Na safra 2007/2008, a área plantada no Brasil foi de, aproximadamente, 115 mil ha, com produção de 303 mil toneladas, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor nacional, com cerca de 80% da produção (CONAB, 2009), destacando-se as regiões de Ribeirão Preto e Marília. O amendoim também é cultivado nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste. Na Região Nordeste, os principais Estados produtores são Bahia, Sergipe, Paraíba e Ceará, com sistemas de produção típicos de agricultura familiar, com baixo uso de insumos e de mecanização e com produtividade média ainda muito baixa.

A grande diversidade dos hábitos de consumo confere ao amendoim expressiva importância econômica. Os grãos são consumidos “in natura” ou processados industrialmente, dando origem a produtos derivados, como óleo e farelo, ou utilizados na fabricação de produtos alimentícios, no ramo das conservas, confeitarias e enlatados e, ainda, na indústria farmacêutica (Godoy et al., 1985).

O amendoim é uma espécie autógama, com estrutura reprodutiva que facilita a autofecundação. Esta espécie se distingue da maioria das outras por florescer em sua parte aérea e por produzir frutos abaixo da superfície do solo. No Brasil, dois tipos botânicos são comercialmente cultivados, classificados, agronomicamente, como:

- Valência, de porte ereto, ciclo relativamente mais curto, sementes de tamanho médio e coloração avermelhada, representando cerca de 60% dos cultivos nacionais;
- Virgínia, de porte ramador ou rasteiro, ciclo longo e sementes grandes, de coloração bege (Santos et al., 1997; Godoy, 2003).

Em São Paulo, o amendoim é cultivado como cultura principal, semeado no início do ano agrícola (“cultivo das águas”), ou como cultura secundária, semeado no final do período das chuvas (“cultivo da seca”), em épocas climaticamente desfavoráveis, porém vantajosas sob o ponto de vista econômico ou agrônômico. Esta última opção é comum nas lavouras do Estado, especialmente quando se utiliza o amendoim como cultura de rotação nas áreas de reforma dos canaviais. Estima-se que 80% da área de reforma de canal seja ocupada pela cultura do amendoim (Kasai et al., 1999).

A cultura do amendoim desenvolve-se melhor em solos com textura média e com drenagem. Os solos de textura pesada, excessivamente argilosos, dificultam a operação da colheita. A camada superior do solo não deve possuir impedimentos que dificultem a penetração do ginóforo.

No Estado de São Paulo, as cultivares IAC Tatu Vermelho, IAC-Tatu-ST e IAC Caiapó têm uma participação no mercado de sementes, fiscalizadas ou certificadas, de 53%, 34% e 13%, respectivamente, enquanto na Região Nordeste, as cultivares mais plantadas são Tatu e BR1 (Favero, 2004).

### 1.1 Fenologia

A fenologia pode ser definida como o estudo dos eventos periódicos da vida da planta, em função de sua reação às condições do ambiente (Fancelli & Dourado Neto, 1997). O conhecimento da fenologia das culturas é de grande interesse para programas de melhoramento, uma vez que as informações sobre crescimento e desenvolvimento podem auxiliar, de forma mais efetiva, em atividades de manejo da cultura. No caso do amendoim, o estudo completo de todas as fases que envolvem seu ciclo torna-se difícil, porque a frutificação ocorre abaixo do nível do solo, dificultando a remoção de frutos para observação de seu estágio de desenvolvimento, o que pode prejudicar a planta e, conseqüentemente, mascarar os resultados relacionados à fase reprodutiva.

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, Rodovia Washington Luiz, km 234, Fazenda Canchim - CEP 13560-970 - São Carlos-SP. Email: jricardo@cnpq.embrapa.br

No aspecto fenológico, a fase de desenvolvimento dos genótipos do tipo Valência e Virgínia é particularmente definida, mas pode variar entre locais, dependendo de diversos fatores, tais como, textura do solo, disponibilidade hídrica, temperatura, radiação solar e dormência das sementes.

No Estado de São Paulo, com semeadura no período das águas, de setembro a outubro, os genótipos do grupo Valência iniciam a floração, geralmente, entre 30 e 32 dias após o plantio (dap), completando-se o ciclo entre 110 e 115 dias. Nos genótipos do grupo Virgínia, a floração e o final do ciclo ocorrem, respectivamente, entre 35 e 40 e entre 120 e 140 dias após o plantio (Godoy et al., 1985). Nas condições de cultivo de sequeiro, nos Estados da Bahia e Paraíba, com semeadura de abril a maio, tem sido observado que os genótipos do grupo Valência iniciam a floração e são colhidos, respectivamente, entre 27 e 30 e entre 100 e 110 dias após o plantio. Nos genótipos do grupo Virgínia, a floração geralmente inicia-se, em média, 35 dias após o plantio, e a colheita a partir dos 120 dias (Guerreiro, 1973; Silva et al., 1991).

Boote (1982) estabeleceu uma escala de estádios fenológicos para o amendoim, onde as principais fases foram assim descritas: germinação (G), aparecimento das primeiras folhas tetrafoliadas (AF), aparecimento dos primeiros ramos (AR), início da floração (IF), aparecimento do ginóforo (AG), alongamento do ginóforo (ALG), início da formação da vagem (IFV), final da floração (FF) e maturação completa da vagem (MCV). Santos et al. (1997), em trabalho de fenologia dos dois tipos botânicos do amendoim, utilizando a escala proposta por Boote (1992), determinaram, para Campina Grande (PB), os eventos fenológicos observados, como se vê na Tabela 1.

**Tabela 1. Eventos fenológicos observados nos genótipos de amendoim do grupo Valência e Virgínia. Campina Grande, PB, 1992. (Extraído de Santos et al., 1997)**

Fatores	Variáveis								
	G <sup>1</sup> (dap) <sup>2</sup>	AF (dap)	AR (dap)	IF (dap)	AG (daif) <sup>3</sup>	ALG (daif)	IFV (dap)	FF (dap)	MCV (dap)
Tipo botânico									
Valência	6	9	14	29	7	10	47	74	99
Virgínia	7	10	14	33	7	10	51	95	123

<sup>1</sup> G = germinação; AF = aparecimento das primeiras folhas tetrafoliadas; AR = aparecimento dos primeiros ramos secundários; IF = início da floração; AG = aparecimento do ginóforo; ALG = alongamento do ginóforo; IFV = início da formação da vagem; FF = final da floração; MCV = maturação completa da vagem.

<sup>2</sup> dap = dias após o plantio.

<sup>3</sup> daif = dias após o início da floração.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

O amendoim é cultivado, amplamente, em mais de 80 países da América, Ásia e África (Moretzsohn et al., 2004), principalmente em regiões tropicais, na faixa de latitude de 30° N a 30° S. Apesar da ampla adaptabilidade, a produtividade da cultura é fortemente influenciada por fatores ambientais, especialmente temperatura, disponibilidade de água e radiação solar, como a maioria das culturas agrícolas.

### 2.1 Disponibilidade Hídrica

De acordo com Doorenbos & Kassam (1994), a cultura do amendoim necessita de 500 a 700 mm de

água, no período total de crescimento, para obtenção de boas colheitas. Para Baldwin & Harrison (1996) a cultura exige de 508 a 635 mm de água, durante todo o ciclo, para expressar produtividade máxima. Nas condições do semi-árido do Nordeste Brasileiro, Silva (1997) obteve as maiores produtividades quando aplicou 700 mm de água, durante o ciclo total da cultura.

### Efeito do déficit hídrico sobre a cultura

A planta do amendoim é conhecida por apresentar mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico, sendo bem adaptada às condições de seca. Apesar disso, o déficit hídrico pode trazer consequências negativas à produtividade. Considerando-se que a implantação da cultura é dependente, sobretudo, da umidade do solo, as condições hídricas ideais podem não ocorrer em muitas lavouras de amendoim estabelecidas durante os diferentes períodos do ano agrícola.

Segundo Boote & Hammond (1981), o déficit hídrico induz alterações metabólicas, cuja importância depende da intensidade e duração do déficit, incluindo a redução do desenvolvimento das células, a expansão das folhas, a transpiração e a redução na translocação de fotoassimilados, apresentando-se, dentre todos os fatores ambientais, como o que mais frequentemente limita o desenvolvimento das culturas. Como consequência, a disponibilidade hídrica pode interferir no estabelecimento da cultura do amendoim, reduzindo a população de plantas, a área foliar, a massa de grãos, a produção de vagens e de grãos (Pallas et al., 1979; Canecchio Filho, 1955).

O período da floração é o mais sensível ao déficit hídrico, seguido pelo período de formação da produção. O déficit hídrico, durante a floração, acarreta queda das flores ou prejudica a polinização, enquanto que, durante o período de formação da produção, reduz o peso das vagens.

### Cultivos em condições de sequeiro – quebra de produtividade

No Estado de São Paulo, a recomendação da época de semeadura do amendoim não leva em consideração as especificidades climatológicas das diferentes regiões, indicando-se, generalizadamente, os meses de setembro e outubro ou fevereiro, como os mais propícios à implantação, respectivamente, do amendoim “das águas” e “da seca” (Godoy et al., 1985). Devido à diversidade dos sistemas de produção do amendoim em São Paulo e as necessidades de cultivo em períodos de entressafra, Marin et al. (2006) realizaram um estudo com o objetivo de determinar as melhores épocas de semeadura da cultura, para quatro localidades representativas das principais regiões produtoras do Estado (Ribeirão Preto, Pindorama, Gália e Campinas), com estimativas do percentual de quebra de produtividade em função da disponibilidade hídrica (Figura 1).

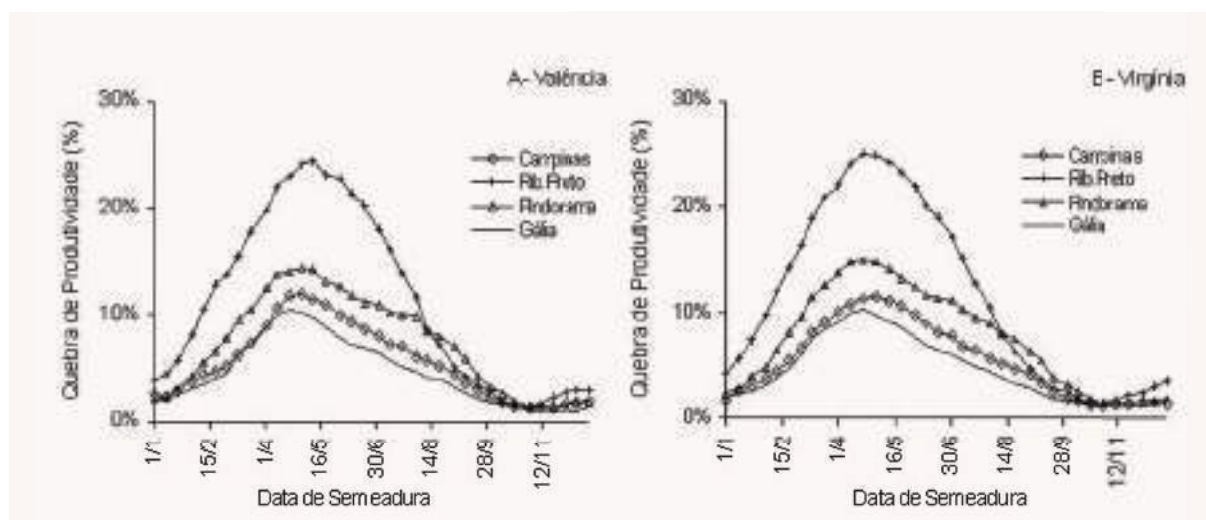


Figura 1. Variação decenal da quebra de produtividade, para dois tipos botânicos de amendoim, em quatro locais do Estado de São Paulo (Extraído de Marin et al., 2006).

Os autores identificaram que, em Ribeirão Preto e Pindorama, ocorreram os maiores valores de quebra de produtividade dentre os locais analisados, o que pode ter sido causado pela distribuição anual das chuvas nestes locais. Verificou-se ainda que o período com menor risco de perda, por deficiência hídrica, está compreendido entre 10 de novembro e 10 de janeiro, com a obtenção de maiores produtividades em condições de campo, sem o uso da irrigação.

### Cultivos sob irrigação – coeficiente de cultura

Para as condições de cultivo do Nordeste Brasileiro, o amendoim irrigado vem se tornando uma importante opção econômica para os produtores. Para o manejo racional da irrigação, a determinação da evapotranspiração da cultura torna-se fundamental. Dentre as metodologias disponíveis para a estimativa do consumo de água pelas plantas, destaca-se o uso de coeficientes de cultura ( $K_c$ ) associados a estimativas da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ). A utilização do  $K_c$ , as metodologias e os procedimentos de cálculo têm sido apresentados e recomendados pela FAO (Doorenbos & Pruitt, 1977; Doorenbos & Kassam, 1979; Allen et al., 1998).

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura ( $E_{Tc}$ ), sem restrição de umidade, e a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), variando em função das características genéticas do material vegetativo.

Marin et al. (2006) apresentaram uma relação entre graus-dia (GD) e  $K_c$  (Figura 2), com as equações utilizadas no algoritmo de simulação de cada tipo botânico. Os valores de  $K_c$  e GD, para cada fase fenológica, foram definidos com base nos dados apresentados por Santos et al. (1997) e por Doorenbos & Kassam (1979). As equações ajustadas, para cada tipo botânico, refletem as características fenológicas de cada grupo botânico e as diferenças quanto ao comprimento do ciclo.

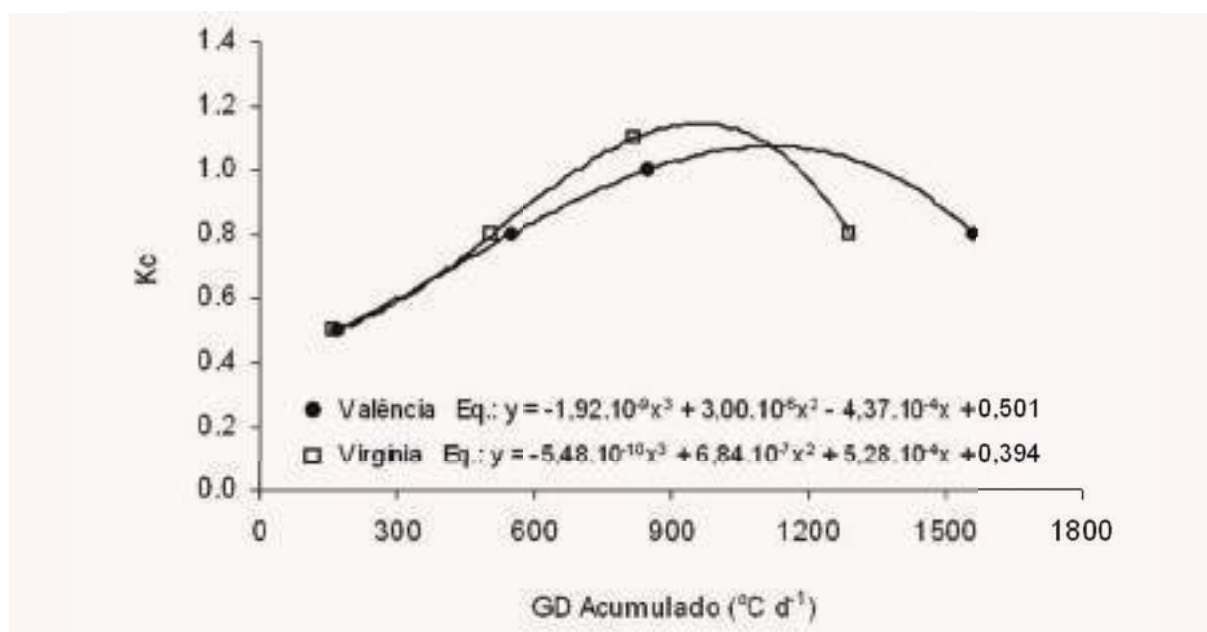


Figura 2. Relação entre o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) e os graus-dia (GD) acumulados, entre a semeadura e o início da fase de maturação, para os tipos botânicos Valência e Virgínia, considerando a temperatura-base de 10°C. (Extraído de Marin et al., 2006)

### Resumo dos índices de relação hídrica para o amendoim

A Tabela 2, extraída de Marin et al. (2006), baseada nos trabalhos de Santos et al. (1997) e Doorenbos & Kassam (1979), apresenta um resumo dos índices utilizados em trabalhos que expressam a disponibilidade hídrica para a cultura do amendoim, para os grupos botânicos Virgínia e Valência.

**Tabela 2. Valores de coeficiente de sensibilidade a seca (Ky), profundidade efetiva do sistema radicular (SR), capacidade de água disponível (CAD), índice de área foliar (IAF) e coeficientes de cultura (Kc), para dois grupos botânicos.**

Fase fenológica	Ky	SR (cm)	CAD (mm)	IAF Valência	IAF Virgínia	Kc Valência	Kc Virgínia
Estabelecimento	0,2	20	20	0,5	0,5	0,5	0,5
Des. Vegetativo	0,6	60	60	2,5	2,5	0,8	0,8
Florescimento	0,7	80	80	4,5	4,5	1,1	1,0
Frutificação	0,6	80	80	6,0	7,0	0,8	0,8
Maturação	0,2	80	80	4,0	4,5	0,6	0,6

## 2.2 Temperatura

Allegre (1957) referiu-se à temperatura como fator primordial entre as necessidades para o crescimento e desenvolvimento do amendoizeiro.

A faixa situada entre 24 e 33°C é considerada ideal para o crescimento vegetativo, tendo-se verificado que, com temperaturas próximas a 33°C, o desenvolvimento vegetativo é maior, ocorrendo, entretanto, um decréscimo na produção de vagens. Temperaturas superiores a 31°C diminuem o número de vagens (Bolhuis & Groot, 1959; Leong & Ong, 1983; Ketring, 1984; Ong, 1984), a massa de vagens (Bolhuis & Groot, 1959; Ong, 1984), a massa de grãos por planta (Ketring, 1984) e o acúmulo de matéria seca pelo amendoim (Bolhuis & Groot, 1959; Ketring, 1984; Ong, 1984). Considera-se 28°C a temperatura ótima para o período de frutificação (Savy Filho e Canechio Filho, 1976).

Um dos métodos mais utilizados para relacionar a temperatura com o desenvolvimento e, ou, crescimento das plantas é o da soma térmica ou graus-dia acumulados. O conceito de graus-dia assume a existência de uma temperatura basal, abaixo da qual o crescimento vegetal pode ser desconsiderado. Cada grau acima da temperatura base corresponde a um grau-dia. Cada espécie vegetal possui uma temperatura-base para as diferentes fases fenológicas, mas pode-se adotar um valor único para todo o ciclo da cultura.

Para o cultivo do amendoim, na fase compreendida entre a semeadura e a colheita, Marin et al. (2006) determinaram, para o grupo botânico Valência, um valor acumulado de 1712 GD e, para o grupo botânico Virgínia, de 1930 GD, valores próximos aos observados por Bennachio et al. (1978) e Ketring & Wheless (1989), e superiores ao trabalho de Prela & Ribeiro (2000), que determinaram, para o Estado do Paraná, um valor aproximado de 1400 GD para o ciclo da cultivar Tatu (Grupo Valência). Em todos estes estudos, considerou-se a temperatura-base da cultura como 10 °C (Ong, 1986).

A partir dos valores de graus-dia, determinados para a fase semeadura-maturação, Marin et al (2006) simularam a variação decendial do ciclo da cultura do amendoim, para quatro localidades do Estado de São Paulo (Ribeirão Preto, Pindorama, Gália e Campinas), destacando-se a grande variação sazonal e as diferenças entre os locais considerados. As diferenças macroclimáticas entre os locais, expressas principalmente pela temperatura do ar, segundo os autores, explicam boa parte das variações observadas na duração do ciclo, já que a temperatura é considerada o fator de maior importância na definição do comprimento do ciclo do amendoim (Allegre, 1957). Pindorama e Ribeirão Preto, locais com temperaturas mais elevadas, tiveram ciclo da cultura estimado entre 160 e 116 dias, para Valência, e entre 180 e 133 dias, para Virgínia. Em Gália, com menores temperaturas do ar, as estimativas da duração do ciclo da cultura foram os maiores, oscilando entre 119 e 188 dias, para Valência e, entre 139 e 209 dias, para Virgínia. Em Campinas, foram observados valores intermediários em relação aos de Ribeirão Preto e Gália.



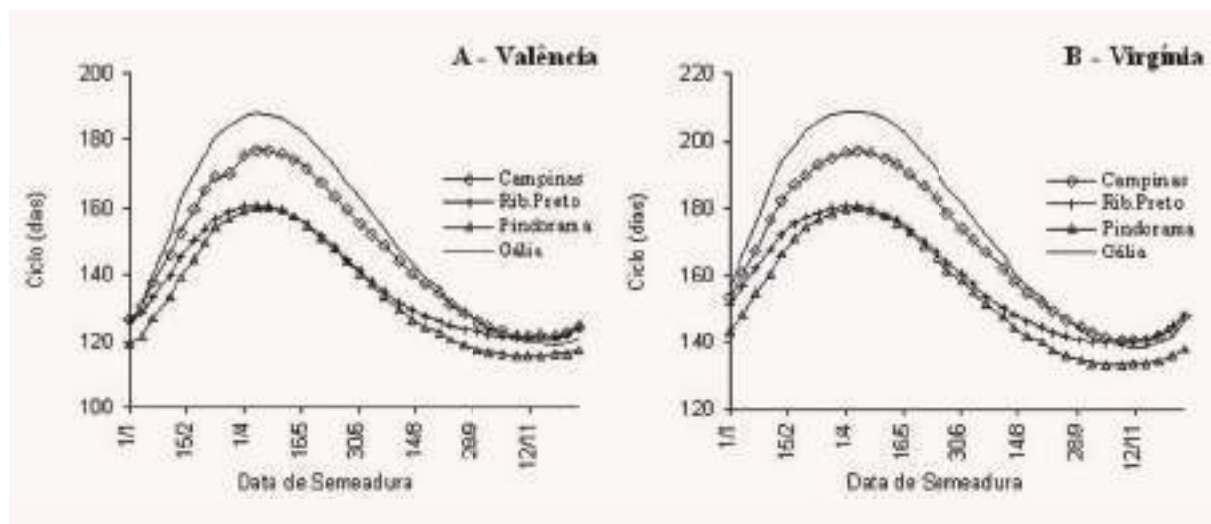


Figura 3. Variação decendial da duração do ciclo da cultura do amendoim, para os tipos botânicos Valência (A) e Virgínia (B), em quatro locais do Estado de São Paulo (Extraído de Marin et al., 2006).

### 2.3 Radiação solar

São poucos os trabalhos apresentados na literatura sobre o efeito da radiação solar no processo fotossintético ou na capacidade produtiva da cultura do amendoim. A capacidade fotossintética de duas cultivares de amendoim do grupo Virgínia (IAC-Caiapó e Runner IAC-886) foi estudada por Eirsmann et al. (2006), que obtiveram a saturação lúmica das cultivares em valores próximos a  $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Neste trabalho, a taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  máxima foi de  $28 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Os autores determinaram que as cultivares estudadas apresentaram boa adaptação às variações diárias das condições ambientais que ocorrem durante o verão, principal época de cultivo nas condições do Estado de São Paulo, apresentando fotoinibição dinâmica da fotossíntese no horário das 13 às 14 horas, quando o excesso de energia luminosa é persistente, sendo elevadas as temperaturas foliares e as diferenças de pressão de vapor entre a folha e o ar.

A radiação solar constitui-se na fonte energética essencial para a manutenção de espécies vegetais. Em plantas cultivadas, a eficiência do uso de radiação solar (RUE), dada pela relação entre a produção de fitomassa e a radiação interceptada, expressa a capacidade das plantas em capturar energia e produzir matéria seca. Fatores como a deficiência hídrica, deficiência nutricional, ataque de pragas e doenças e concorrência com plantas infestantes interferem na eficiência do uso da radiação solar (Monteith e Unsworth, 1990; Távora et al., 2002). Para a cultura do amendoim, Collino et al. (2001) determinaram que a interceptação da radiação, pela cultura, e a sua eficiência de conversão em fitomassa decrescem com o aumento do déficit de saturação de água no solo.

Em um estudo de interceptação da radiação solar pela cultura do amendoim, cv. Tatu, realizado em Botucatu, SP, Assunção et al. (2008) verificaram que as interceptações máximas de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) ocorreram durante o estágio de floração, entre 35 e 60 dias após a emergência, e o coeficiente de extinção médio da cultura, durante o ciclo, foi de 0,66. Analisando-se a relação entre rendimento de fitomassa e PAR interceptada pela cultura, os autores obtiveram um valor de eficiência de uso da radiação (RUE) de  $1,28 \text{ g MJ}^{-1}$ , durante o ciclo da cultura.

### 2.4 Fotoperíodo

Os estádios fenológicos da cultura do amendoim não parecem ser afetados pelo fotoperíodo (Fortanier 1975, citado por Ong, 1986). Entretanto, o mesmo autor relata estudos mostrando que a produtividade da cultura pode ser afetada pelo fotoperíodo, existindo materiais genéticos mais produtivos em dias curtos (11 a 12 horas) e materiais genéticos mais produtivos em dias longos (15 a 16 horas).

## 2.5 Vento

Não foram encontradas, na literatura, informações sobre efeitos fisiológicos provocados pelo vento, na cultura do amendoim.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

Não foram encontradas, na literatura, informações sobre efeitos de eventos adversos na cultura do amendoim.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### Relação clima-doença, na cultura do amendoim

Um dos fatores limitantes à produtividade da cultura do amendoim é a ocorrência de doenças na parte aérea, destacando-se a mancha castanha e a mancha preta, causadas pelos fungos *Cercospora arachidicola* Hori e *Cercosporidium personatum* (Berk & Curt) Deighton, respectivamente. Sob condições meteorológicas favoráveis, isto é, elevadas precipitações pluviais e temperaturas, predominantes nas condições de cultivo do amendoim, no Estado de São Paulo, estes patógenos se tornam as doenças mais importantes (Moraes e Godoy, 1997).

Diversas são as medidas de controle das manchas foliares do amendoim, destacando-se, dentre elas, a resistência varietal e a rotação de culturas. Contudo, o controle químico se faz necessário. Dependendo da variedade utilizada e da época de cultivo, o controle químico, baseado em calendário de aplicações, requer de 4 a 6 pulverizações quinzenais para o controle das manchas foliares. Existe a possibilidade de redução do número de aplicações para o controle das doenças, como mostram os trabalhos recentes de Moraes et al., 1997, e Moraes et al., 1998, para as condições de cultivo do Estado de São Paulo, com a cultivar Tatu, em vários anos de pesquisas, que estimaram o número necessário de aplicações de fungicidas, para o controle da mancha preta, variando de uma a três.

A influência dos elementos climatológicos sobre o desenvolvimento de epidemias das manchas foliares do amendoim, como a temperatura e a umidade relativa do ar, são bastante conhecidas (Jensen e Boyle, 1965; Vale e Zambolim, 1996). Um modelo de previsão dessas doenças foi proposto por Jensen e Boyle (1966), considerando a temperatura mínima e o período em que a umidade relativa do ar é igual ou superior a 95%, medida indiretamente pelo molhamento foliar.

Os métodos de previsão de ocorrência de doenças, para indicação das pulverizações, além de melhorar a eficiência do controle, devem considerar, também, a rapidez e a facilidade de uso. Para a mancha preta do amendoim, a utilização da chuva, como alternativa aos dados de umidade relativa (Davis et al., 1993; Pezzopane et al., 1996), representa uma simplificação do monitoramento. Pezzopane et al. (1996) verificaram que, para a cultivar Tatu, a quantidade de chuva diária acima de 2,5 mm foi uma variável climática adequada para explicar a ocorrência da doença. Posteriormente, Pezzopane et al. (1998) desenvolveram um método de indicação de pulverização após a ocorrência de dois a quatro dias com precipitação pluvial acima de 2,5 mm, com resultados semelhantes ao tratamento com pulverizações fixas, tanto em relação à intensidade da doença quanto à produtividade da cultura.

Posteriormente, o método de monitoramento da chuva, para controle das manchas foliares, foi também testado para a verrugose (*Sphaceloma arachidis*) do amendoim (Moraes et al., 2001), mostrando-se satisfatório para o seu controle, quando associado ao da mancha preta.

## 5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALLEGRE, G. Contribution a l'étude du photoperiodisme de l'arachide en relation avec la température. **L'Agronomie Tropicale**, Paris, v. 12, n. 4, p. 494-507, 1957.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ASSUNÇÃO, H. F. et al. Eficiência de uso da radiação e propriedades óticas da cultura do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 3, p. 215-222, jul./set. 2008.

BALDWIN, J. A.; HARRISON, K. A. Determining water use in peanut production. **Irrigation Journal**, Urbana, v. 46, n. 6, 1996, p.18-21.

BENNACHIO, S.; MAZZANI, B.; CANACHE, S. Estudio de algunas relaciones fenológico-ambientales en el cultivo del mani (*Arachis hypogaea* L.) sembrado en diferentes épocas en Venezuela. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 28, n. 5, p. 483-507.

BOLHUIS, G. G. ; GROOT, W. Observations on the effect of varying temperatures on the flowering and fruit set in three varieties of groundnut. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 7, p. 317-326, 1959.

BOOTE, K. J. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Peanut Science**, Raleigh, v. 9, p. 35-40, 1982.

BOOTE, K. J.; HAMMOND, L. C. Effect of drought on vegetative and reproductive development of peanut. **Proceedings of the American Peanut Research and Education Society**, College Station, v.13, p. 86, 1981.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Central de Informações Agropecuárias**. <[www.conab.gov.br/conabweb/index.php?pag=131](http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?pag=131)>. Acesso em: 21 jan. 2009.

COLLINO, D. J. et al. Physiological responses of argentine peanut varieties to water stress. Light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 177-184, May 2001.

DAVIS, D. P.; JACOBI, J. C.; BACKMAN, P. A. Twenty-four hour rainfall, a simple environmental variable for predicting peanut leaf spot epidemics. **Plant Disease**, Saint Paul, United States, v. 77 p. 722-725, 1993.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 198 p. (Irrigation and drainage paper, 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos de FAO- irrigação e drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage paper, 33).

BOOTE, K. J. Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Peanut Science**, Raleigh, v. 9, p. 35-40, 1982.

CANECCHIO FILHO, V. Amendoim da seca: épocas de plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 14, p. 23-24, 1955.

CUMMIS, D. G. Groundnut: the unpredictable legume? production constraints and research needs. In: INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS, 1986, Patancheru, India. **Agrometeorology of groundnut: proceedings of an International Symposium ICRISAT Sahelian Center Niamey Niger, 1985**. [Patancheru: s.n.], 1986. p. 17-22.

EMBRAPA. **Sistemas de produção**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2009.

ERISMANN, N. de M.; MACHADO, E. C.; GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 6, p.1099-1108, jul. 2006.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. 2. ed. Piracicaba: Publique, 1997. p. 1-20.

FÁVERO, A. P. **Cruzabilidade entre espécies silvestres de *Arachis* visando à introgressão de genes de resistência a doenças no amendoim cultivado**. 2004. 165 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Esalq-USP, Piracicaba, 2004.

GODOY, I. J. et al. **Programa integrado de pesquisa: oleaginosas**. Campinas: IAC, 1985. 33 p.

GODOY, I. J. et al. Cultivares IAC de amendoim. **O Agrônomo**, Campinas, v. 55, n. 1, 2003.

GUERREIRO, J. F. **Cultura do amendoim**. Cruz das Almas: DNPEA-IPEAL, 1973. 10 p. (DNPEA-IPEAL circular, 28).

JENSEN, R. E.; BOYLE, L. W. The effect of temperature, relative humidity and precipitation on peanut leafspot. **Plant Disease Reporter**, Washington, DC, v. 49, p. 975-978, 1965.

JENSEN, R. E.; BOYLE, L. W. A technique for forecasting leaf spot on peanuts. **Plant Disease Reporter**, Washington, DC, v. 50, p. 810-814, 1966.

KASAI, F. I. et al. Influência da época de semeadura no crescimento, produtividade e outros fatores de produção em cultivares de amendoim na região da alta paulista. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 1, p. 95-107, 1999.

KETRING, D. L. Temperature effects on vegetative and reproductive development of peanut. **Crop Science**, Madison, v. 24, p. 877-882, 1984.

KETRING, D. L.; WHELESS, T. G. Thermal time requirements for phenological development of peanut. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 910-917, 1989.

LEONG, S. K. ; ONG, C. K. The influence of temperature and soil water deficit on the development and morphology of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 34, n. 148, p. 1551-1561, 1983.

MARIN, R. R. et al. Estimativa da produtividade e determinação das melhores épocas de semeadura para a cultura do amendoim no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 64-75, 2006.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of environmental physics**. 2. ed. London: Edward Arnold, 1990.

MORETZSOHN, M. C. et al. Genetic diversity of peanut (*Arachis hypogaea* L.) and its wild relatives based on the analysis of hypervariable regions of the genome. **Plant Biology**, Stuttgart, p. 4-11, 2004.

MORAES, S. A.; GODOY, I. J. Amendoim (*Arachis hypogaea* L.): controle de doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: UFV, 1997. cap. 1, p. 1-49.

MORAES, S. A. et al. Monitoramento da mancha preta associado a parâmetros climáticos para prever a necessidade de controle químico em amendoim. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 3, p. 419-426, 1997.

MORAES, S. A. et al. Desempenho dos cultivares de amendoim tatu e IAC-Caiapó em diversos níveis de controle da mancha preta. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v. 24, n. 2, p.125-130, 1998.

MORAES, S. A. et al. Eficiência de fungicidas no controle da mancha preta e verrugose do amendoim por método de monitoramento. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, p.134-140, 2001.

ONG, C. K. Agroclimatological factors affecting phenology of groundnut. In: INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS, 1986, Patancheru, India. **Agrometeorology of groundnut: proceedings of an International Symposium ICRISAT Sahelian Center Niamey Niger, 1985.** [Patancheru: s.n.], 1986. p.115-125.

ONG, C. K. The influence of temperature and water deficits on the partitioning of dry matter in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 35, n. 154, p. 746-755, 1984.

PALLAS JUNIOR, J. E.; STANSELL, J. R. ; KOSKE, T. J. Effects of drought on florunner peanuts. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 853- 858, 1979.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Uso da precipitação para previsão de mancha de cercospora em amendoim. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, p. 426-430, 1996.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Chuva e previsão de épocas de pulverização para controle das manchas foliares do amendoim. **Bragantia**, Campinas, v. 57, p. 285-295, 1998.

PRELA, A.; RIBEIRO, A. M. de A. Soma de graus-dia para o sub-período sementeira-maturação do amendoimzeiro. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 321-324, 2000.

Santos, R. C. et al. Fenologia de genótipos de amendoim dos tipos botânicos Valência e Virgínia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 6, p. 607-612, 1997.

SAVY FILHO, A.; CANECHIO FILHO, V. **Instruções para a cultura do amendoim.** São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1976. 23 p. (Boletim, n. 208).

SILVA, L. C. **Respostas ecofisiológicas e desempenho agrônomo do amendoim cv. BR-1 submetido a diferentes lâminas e intervalos de irrigação.** 1997, 126 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997.

SILVA, L. C. et al. **Comportamento de genótipos de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) sob condições de sequeiro.** Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1991. 11 p. (Embrapa-CNPA. Pesquisa em andamento, 13).

TÁVORA, F. J. F. et al. Peanut response to plant densities and planting patterns: light interception, growth analysis and yield. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 5-12, 2002.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLLIM, L. Influência da temperatura e umidade nas epidemias de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 4, p. 149-207, 1996.



# ARROZ

Foto: Cris DeRaud





## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, são considerados dois grandes ecossistemas para a cultura do arroz, o de várzeas, em que a cultura é irrigada por inundação controlada, e o de terras altas, englobando o cultivo com irrigação suplementar, por aspersão, e o cultivo em sequeiro.

O arroz irrigado por inundação é cultivado na região subtropical, concentrando-se basicamente na Região Sul do Brasil, Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, sendo responsável por 65% da produção brasileira (IBGE, 2006), embora seja também cultivado na região tropical, onde se concentra, basicamente, na Região Centro-Oeste e Norte, destacando-se os Estados de Tocantins, Mato Grosso do Sul, norte de Goiás e Roraima (Guimarães et al., 2006). Neste grupo predominam as cultivares pertencentes à subespécie *indica*.

Atualmente, devido a questões logísticas e de segurança alimentar, não se recomenda concentrar a produção de arroz somente em dois Estados da Região Sul. Assim, o interesse pelo arroz de terras altas vem aumentando. Este sistema de cultivo concentra-se no Maranhão e na região central do país, que tem como destaque o Estado de Mato Grosso, que apresenta a maior produtividade, predominando as cultivares pertencentes à subespécie *japônica*.

### 1.1 Fenologia e Desenvolvimento

O arroz pertence à família das Poaceae, gênero *Oryza*, composto por 22 espécies (Vaughan et al., 2003). Dentre tais espécies, destaca-se a *Oryza sativa* L., por ser a mais cultivada, tendo duas subespécies, *indica* e *japônica*. Embora seja uma planta de dias curtos, o arroz se adapta a diversas condições climáticas, por ser cultivado há muito tempo.

O ciclo de vida da planta do arroz pode ser dividido em três fases distintas: fase vegetativa, reprodutiva e maturação dos grãos. A fase vegetativa, que corresponde ao intervalo entre a germinação e a diferenciação da panícula, é a principal responsável pela duração do ciclo total da cultura, sendo afetada, basicamente, pela temperatura do ar e pelo comprimento do dia (fotoperíodo) (Vergara & Chang, 1985). Assim, esta fase pode ser dividida em fase vegetativa básica e fase sensível ao fotoperíodo.

As diferenças varietais, na duração do crescimento (ciclos curto, médio e longo) devem-se, basicamente, às diferenças na fase vegetativa. Após a emergência, pode-se considerar, como ciclos curto, médio e longo, cultivares com até 120, 135 e acima de 135 dias, respectivamente (EMBRAPA, 1977). As cultivares utilizadas no sistema de cultivo de terras altas são basicamente as de ciclos curto e médio, apresentando pouco ou nenhuma sensibilidade ao fotoperíodo. Já para o sistema de cultivo irrigado tropical, prevalecem as de ciclo médio e, para o subtropical, encontram-se cultivares de ciclo curto, médio e longo. A emissão de perfilhos ocorre durante a fase vegetativa, geralmente a partir do desenvolvimento da quarta folha do colmo principal.

A fase reprodutiva, que vai da diferenciação da panícula ao florescimento, possui duração relativamente constante entre as cultivares, variando de 30 a 35 dias. Nesta fase ocorre a emergência da panícula, dando início ao período de florescimento, no qual ocorrem os processos de abertura de flores, polinização e fertilização (Pinheiro, 2006).

A fase de maturação de grãos, etapa final do ciclo de vida da planta, vai do florescimento à maturação

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Arroz e Feijão, Rodovia GO-462, km 12, Zona Rural, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: alexbh@cnpaf.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Arroz e Feijão. E-mail: stone@cnpaf.embrapa.br

3- Eng. Agrícola, Mestre, Pesquisador, EMBRAPA – Arroz e Feijão. E-mail: silvando@cnpaf.embrapa.br



dos grãos, tendo duração de 30 a 35 dias, podendo, ainda, ser dividida em estádios de grão leitoso, ceroso e maduro (Pinheiro, 2006).

Counce et al. (2000) propuseram um método preciso para determinar o estágio da planta de arroz, com base em critério morfológico bem definido. No método, a fase de maturação de grãos é considerada como parte da fase reprodutiva. Tal método é ilustrado pela Tabela 1, a seguir.

**Tabela 1. Descrição de eventos e marcadores morfológicos relativos às fases e estádios de desenvolvimento da planta de arroz, de acordo com a classificação de Counce et al. (2000).**

Fase de desenvolvimento	Estádio	Marcador morfofisiológico	Eventos concomitantes no mesmo colmo
Vegetativa	V1	Formação do colar da 1° folha no colmo principal	
	V2	Formação do colar da 2° folha no colmo principal	Formação das raízes nodais V2 a R0
	V3	Formação do colar da 3° folha no colmo principal	
	V4	Formação do colar da 4° folha no colmo principal	Processo de perfilhamento V3 a Vn, podendo ir até R9
	Vn	Formação da n-ésima folha (folha-bandeira) no colmo principal	
Reprodutiva	R0	Início do desenvolvimento da panícula	V9 a V10
	R1	Diferenciação da panícula	Formação das ramificações e diferenciação da lema e da pálea V11 a V12.
	R2	Formação do colar da folha-bandeira	Microsporogênese e emborrachamento V13
	R3	Emissão da panícula na bainha, ponta acima do colar	Alongamento do pedúnculo R2
	R4	Antese: um ou mais floretes da panícula em antese	Polinização R3
	R5	Expansão do grão em comprimento e largura: pelo menos uma cariopse da panícula do colmo principal apresenta alongamento	Crescimento da cariopse R4
	R6	Expansão do grão em espessura: pelo menos uma cariopse da panícula do colmo principal preencheu completamente a casca	Enchimento dos grãos, estágio de grão leitoso R5
	R7	Secamento do grão: pelo menos um grão do colmo principal apresenta-se com pericarpo amarelo	Enchimento dos grãos, estágio ceroso e massa dura R6
	R8	Maturação do grão: pelo menos um grão do colmo principal apresenta-se com pericarpo marrom	Grãos secos, maturidade fisiológica R7
R9	Completa maturidade da panícula; todos os grãos apresentam-se com pericarpo marrom	Mudanças pós-colheita R8	

Fonte: Adaptada de Pinheiro (2006)

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade Hídrica

A quantidade de água necessária para o cultivo do arroz irrigado, por inundação, é considerada elevada quando comparada com outras culturas de grão. Isto ocorre porque outros componentes do uso da água, além da evapotranspiração, são levados em conta, como percolação e perdas por fluxo lateral. Quando se considera apenas a evapotranspiração, a eficiência do uso da água pelo arroz, definida como a relação entre a produção comercial e a quantidade de água evapotranspirada, é comparável à eficiência de outros cereais. A produtividade do arroz, por unidade evapotranspirada, situa-se ao redor de  $1,1 \text{ kg m}^{-3}$ , podendo chegar a  $1,6 \text{ kg m}^{-3}$  (Tuong & Bhuiyan, 1999).

A evapotranspiração do arroz irrigado, por inundação, depende da demanda evaporativa da atmosfera e é independente da fase de desenvolvimento da cultura (Wickham & Sen, 1978). Assim, de acordo com estes autores, a taxa de evapotranspiração está relacionada com temperatura, umidade do ar, movimento e intensidade do vento e duração da luz solar, e não com o número e o tamanho das folhas. Valores típicos de evapotranspiração de arroz, nos trópicos, são de 4 a 5  $\text{mm d}^{-1}$ , na estação chuvosa e, de 6 a 7  $\text{mm d}^{-1}$ , na estação seca (Tabbal et al., 2002). Em regiões de clima temperado, a evapotranspiração varia entre 6,7 e 7,7  $\text{mm d}^{-1}$  (Magalhães Júnior et al., 2006). No início do ciclo da cultura, a evapotranspiração é, em maior parte, composta pela evaporação da superfície da água, mas, à medida que a cultura cresce e sombreia a água, a evaporação decresce, aumentando a transpiração do dossel. A energia atmosférica comanda ambos os componentes da evapotranspiração. Assim, a relação evapotranspiração/evaporação da água é altamente estável e próxima de um. De fato, Steinmetz (1984) verificou que, para a cultivar IAC 899, plantada na estação chuvosa, em Goianira, GO, esta relação variou, ao longo do ciclo da cultura, entre 1,02 e 1,17 (Tabela 2). O fato de a relação evapotranspiração/evaporação da água ser próxima de 1 significa que a evapotranspiração é limitada pela energia disponível, e que, sob condições de campo, a evapotranspiração de um dossel, que é tridimensional, é praticamente igual à evaporação de uma superfície de água, que é plana. Em pequenas lavouras irrigadas, sob a ação de ventos secos, a evapotranspiração pode ser maior, em consequência de efeitos advectivos, particularmente quando o escoamento do ar provém de áreas não irrigadas.

**Tabela 2. Relação entre a evapotranspiração (ET), da cultivar de arroz IAC899, e a evaporação da água em um tanque Classe A (ECA), durante a estação chuvosa, em Goianira, GO.**

Fase de desenvolvimento	Relação ET/ECA
Início do perfilhamento – diferenciação do primórdio floral	1,02
Diferenciação do primórdio floral – floração (50%)	1,17
Floração (50%) – fase leitosa	1,14
Fase leitosa – corte da irrigação	1,02

Fonte: Adaptada de Steinmetz (1984)

No cálculo do requerimento de água do arroz irrigado, por inundação, considera-se, normalmente, que cerca de 90% do sistema radicular da cultura concentra-se na camada de 0 a 20 cm de profundidade, com mais de 50% das raízes ocorrendo nos primeiros 10 cm. Raramente são observadas raízes abaixo de 40 cm de profundidade.

No Rio Grande do Sul, RS, em sistemas de tabuleiro em contorno, para suprir as necessidades

hídricas do arroz durante o ciclo, para cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, considerando todas as perdas de água, recomenda-se a utilização de vazões contínuas de 1,5 a 2,0 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, num período médio de irrigação de 80 a 100 dias (SOSBAI, 2005). Solos com textura franco-arenosa ou arenosos, com maiores gradientes de declividade, necessitam de vazões maiores. A quantidade de água necessária também aumenta em condições de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar. Corrêa et al. (1997) fizeram uma revisão sobre o requerimento de água neste Estado, por balanço hídrico, não contemplando as perdas na condução da água nos canais nem a saída contínua de água para o dreno, ou seja, foi considerada a irrigação com lâmina de água estática. Sem chuvas, o requerimento de água variou de 1,15 a 1,76 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, ou, de 0,77 a 1,02 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, em condições de precipitação pluvial. De acordo com Magalhães Júnior et al. (2006), a necessidade de água para o arroz, em um sistema estático de irrigação por inundação variou de 655,4 mm, em Uruguaiana, a 801,6 mm, em Santa Vitória do Palmar, para semeaduras de 15 de setembro e 15 de novembro. Ainda no RS, Machado et al. (2002), comparando, por dois anos, os sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo, pré-germinado, mix de pré-germinado e transplante de mudas, verificaram que a variação no requerimento de água foi pequena. Se a água utilizada para o preparo do solo (pré-germinado e transplante) ou para a formação da lâmina (mix de pré-germinado) fosse oriunda da chuva, haveria nesses sistemas um decréscimo no requerimento de 1.285 m<sup>3</sup>. Segundo Bouman & Tuong (2001), o requerimento de água para o preparo do solo na Ásia é, teoricamente, de 150 a 200 mm, mas pode ser tão alto quanto 650 a 900 mm, se a duração for longa, por 24 a 48 dias. Magalhães et al. (2006), por sua vez, relataram que o requerimento de água, durante o ciclo de uma cultivar de ciclo médio, é maior no sistema de cultivo convencional (741,5 mm) que no pré-germinado (723,3 mm) e no direto (694,5 mm).

No sistema de plantio com sementes pré-germinadas, mais comum em Santa Catarina, o período de irrigação é maior, iniciando-se no preparo do solo. Apesar disso, em geral, há menor necessidade de água. Para o preparo do solo, aplica-se uma lâmina de água de 4 a 5 cm sobre a superfície, mais a lâmina necessária para saturar o solo. Normalmente, são necessários de 1000 a 2.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Por ocasião da reposição de água, após a aplicação do herbicida pós-plantio do arroz, que deverá ser feita em um ou dois dias, é recomendável uma vazão mínima de 2 a 3 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, o que sugere um escalonamento na aplicação do herbicida para evitar falta de água na reposição da lâmina. Para a manutenção da lâmina, vazões em torno de 1 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> são suficientes, tendo em vista a baixa percolação da água no solo, devido à formação da lama (SOSBAI, 2005).

Em Goianira, GO, Stone et al. (1990), em solo de textura argilo-arenosa, verificaram que, para a manutenção da inundação contínua ao longo do ciclo do arroz, foram necessários 7,4 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Quando se combinou inundação intermitente na fase vegetativa com inundação contínua na fase reprodutiva, a vazão necessária foi reduzida para 4,9 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> e, com inundação intermitente durante todo o ciclo, para 2,1 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Nas várzeas do Estado do Tocantins, o requerimento de água depende, principalmente, da altura do lençol freático que, por sua vez, depende do nível de água dos rios, que é afetado pelo regime de chuvas. Na época em que ocorre menos precipitações pluviais, o requerimento de água é da ordem de 4,0 a 4,5 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> (Santos & Rabelo, 2008).

No ecossistema de terras altas, a quantidade e a distribuição da precipitação pluvial são muito importantes, pois o arroz de terras altas é altamente sensível à deficiência hídrica e ao efeito do estresse, cuja gravidade depende da coincidência entre o período da ocorrência e os processos fisiológicos determinantes da produtividade, além da tolerância relativa da planta (Pinheiro, 2006). O estresse hídrico é considerado moderado quando a consequente redução na produtividade do arroz é inferior a 50%; acima deste percentual, o estresse é considerado severo (Jongdee et al., 2006).

De forma geral, a deficiência hídrica não causa prejuízos muito severos à produção quando ocorre na fase vegetativa da planta de arroz. Dentre os períodos da fase reprodutiva, destacam-se, como especialmente sensíveis, o período de divisão de redução da célula-mãe do pólen (meiose) e o florescimento. A deficiência hídrica interfere em todos os processos fisiológicos e, por isso mesmo, tem acentuado efeito sobre a produção de fitomassa e o rendimento de grãos. Sua intensidade pode ser estimada através da medição do potencial da água das folhas. Hsiao

(1973) indica que, a interferência nos diversos processos fisiológicos, dá-se a diferentes níveis de estresse, sendo o crescimento o mais sensível de todos, enquanto a assimilação de CO<sub>2</sub> e a respiração são menos sensíveis e, porquanto, afetados mais tardiamente (tabela 3). Em decorrência dessa sensibilidade diferencial dos processos, os diferentes sintomas vão, gradativamente, sendo notados. Como a redução do crescimento é um sintoma menos óbvio de ser detectado, o primeiro sintoma observado, visualmente, é o enrolamento das folhas, inicialmente leve, mas com rápida progressão. Logo após, verifica-se o amarelecimento da folha, decorrente da inibição da síntese de proteínas e da formação de protoclorofila. Se a planta está no estágio vegetativo, os processos de perfilhamento e de alongamento das folhas serão inibidos, em função do já citado efeito sobre o crescimento. Como resultado, a planta apresentará um baixo índice de área foliar, que vai reduzir seu potencial produtivo, em caso de retorno às condições favoráveis (Pinheiro & Guimarães, 1990). Na fase reprodutiva da cultura, a inibição da emissão das panículas é um sintoma característico de deficiência hídrica, resultando em panículas mal expostas, ou, mesmo, não emitidas; outro sintoma é o dessecamento parcial ou total das espiguetas. Juntamente com a inibição da antese, estes sintomas resultam em alta esterilidade de espiguetas. Assim, a fertilidade de espiguetas é o componente que melhor se relaciona à produtividade de grãos, sob condições de deficiência hídrica na fase reprodutiva (Pinheiro et al., 2000).

**Tabela 3. Sensibilidade dos processos da planta à deficiência hídrica.**

Processos ou Parâmetros afetados	Muito Sensível		Moderadamente Insensível
	Valor do potencial da água requerido para afetar processos		
	0 MPa	1 MPa	2 MPa
Crescimento da célula	_____	_____	_____
Síntese da parede celular	_____	_____	_____
Síntese de proteína	_____	_____	_____
Formação de protoclorofila	_____	_____	_____
Nível de redutase de nitrato	_____	_____	_____
Acumulação de ácido abscísico	_____	_____	_____
Nível de citocininas	_____	_____	_____
Abertura estomática	_____	_____	_____
Assimilação de CO <sub>2</sub>	_____	_____	_____
Respiração	_____	_____	_____
Acumulação de prolina	_____	_____	_____
Acumulação de fotoassimilados	_____	_____	_____

Fonte: Adaptada de Hsiao (1973)

No cálculo do requerimento de água do arroz de terras altas, normalmente, considera-se que, embora o sistema radicular do arroz de terras altas possa atingir profundidades maiores que 100 cm, cerca de 70% das raízes concentram-se nos primeiros 20 cm e, cerca de 90%, situam-se na camada

de 0 a 40 cm (Stone & Pereira, 1994). Para irrigação do arroz por aspersão, considera-se o sistema radicular com profundidade efetiva de 30 cm.

A necessidade total de água, para o cultivo do arroz de terras altas, varia em torno de 400 a 700 mm, dependendo da cultivar, da região do país, da época de semeadura e do manejo do solo, dentre outros. Segundo Stone et al. (1979), o requerimento total de água, para as cultivares de ciclo médio IAC 47 e CICA 4, em Goiânia (GO), foi de 600 mm. No mesmo local, Steinmetz (1986) observou requerimento total de 676 mm para a cultivar IAC 47, com média diária de 5,3 mm. Em Uberaba (MG), a mesma cultivar utilizou 715 mm (Manzan, 1984), com requerimento médio diário entre 5 e 6 mm.

Steinmetz (1986) determinou os valores do coeficiente de cultura, para o arroz de terras altas, sob preparo do solo convencional, de 0,70, 0,90, 1,24 e 0,90, para os estádios de plântula, vegetativo, final do vegetativo-reprodutivo e enchimento dos grãos, respectivamente. O manejo da cultura e do solo altera os valores dos coeficientes de cultura. Verifica-se na Tabela 4 que o valor máximo do Kc, para o arroz semeado a 0,20 m entre linhas (Stone & Silva, 1999), é maior que o obtido, por Steinmetz (1986), para o arroz semeado a 0,50 m entre linhas. Da mesma forma, os valores de Kc, para o arroz cultivado em solo preparado convencionalmente, são maiores que para o do arroz sob plantio direto (Stone & Silveira, 2003).

**Tabela 4. Coeficientes de cultura referentes ao arroz de terras altas semeado no espaçamento de 0,20 m entre linhas.**

Estádio	Duração (dia)	Coeficiente de cultura	
		PC <sup>1</sup>	PD <sup>2</sup>
Emergência – início do perfilhamento	20	0,58	0,18
Início do perfilhamento – iniciação da panícula	45	0,72	0,67
Iniciação da panícula – grão pastoso	55	1,34	1,28
Grão pastoso – maturação	15	0,67	0,53

<sup>1</sup>Preparo convencional do solo; <sup>2</sup>Plantio direto

Stone & Silveira (2003), estimando a evapotranspiração do arroz de terras altas, para vários municípios, em diferentes estados brasileiros, no sistema convencional de preparo do solo e sob plantio direto, considerando os valores de Kc da Tabela 4, verificaram que, no primeiro sistema, variou de 487 mm, em Primavera do Leste, MT, a 629 mm, em Guará, SP. Sob plantio direto, para os mesmos municípios, a evapotranspiração variou de 417 mm a 530 mm.

Stone et al. (2002), utilizando a cultivar de ciclo curto Primavera, verificaram que a cultura do arroz de terras altas consorciada com braquiária, utilizou, ao longo do ciclo, 7,7% a mais água que o arroz solteiro, ou seja, 468 mm contra 435 mm. Contudo, isso não ocorreu em todos os estádios, mas sim, da emergência até o início do perfilhamento, provavelmente devido à maior área foliar da consorciação em relação ao arroz solteiro e, do final da floração até a maturação, devido à senescência das folhas do arroz, enquanto, na consorciação, a braquiária mantinha-se verde. Por outro lado, nos estádios de maior desenvolvimento de área foliar do arroz, do início do perfilhamento ao final da floração, em que o arroz apresenta maior sensibilidade à deficiência hídrica, a consorciação utilizou menos água, o que minimiza o risco de estresse hídrico para o arroz. Isto ocorreu, provavelmente, em razão da maior cobertura do solo e do sombreamento mútuo na consorciação, além da menor utilização de água pela braquiária em relação ao arroz, fazendo com que a consorciação, como um todo, utilizasse menos água.

## 2.2 Temperatura

A temperatura do ar é um dos elementos climáticos de maior importância para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz. Cada fase fenológica tem sua temperatura crítica ótima, mínima e máxima.

A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se entre 20 e 35°C (Yoshida & Parao, 1976). Em geral, a cultura exige temperaturas relativamente elevadas da germinação à maturação, uniformemente crescentes até a floração (antese) e, decrescentes, porém sem abaixamentos bruscos, após a floração. As faixas de temperatura ótima variam de 20 a 35°C para germinação, de 30 a 33°C para a floração e, de 20 a 25°C, para a maturação (Tabela 5). A planta do arroz não tolera temperaturas excessivamente baixas, nem excessivamente altas. Entretanto, a sensibilidade da cultura varia, tanto para uma quanto para a outra, em função da fase fenológica.

**Tabela 5. Temperaturas críticas mínimas, máximas e ótimas, para o crescimento e o desenvolvimento do arroz.**

Estádio de desenvolvimento	Temperatura crítica do ar (°C)		
	Mínima	Máxima	Ótima
Germinação	10	45	20-35
Emergência e estabelecimento de plântulas	12-13	35	25-30
Transplântio	> 18		
Desenvolvimento da raiz	16	35	25-28
Alongamento da folha	7-12	45	31
Perfilhamento	16	33	25-31
Iniciação do primórdio floral	15	-	24-29
Emergência da panícula	15-20	38	25-28
Antese	22	35	30-33
Maturação	12-18	30	20-25

Fonte: Adaptada de Yoshida & Parao (1976)

A duração do perfilhamento e, também, o número de perfilhos por área, são afetados pela temperatura. De acordo com Lalitha et al. (1999; 2000), a uma temperatura de 23 °C, a duração do perfilhamento foi de 8 semanas, sendo que o aumento da temperatura, de 4°C (27 °C), reduziu tal duração a 5 semanas. O número de perfilhos por área também aumentou com o acréscimo na temperatura.

A quantidade de matéria seca acumulada, até a emissão das panículas, tem grande influência no rendimento de grãos do arroz. Assim, a temperatura possui grande influência na criação dessa capacidade fotossintética na fase vegetativa e, também, na extensão dessa capacidade fotossintética na fase reprodutiva (Yogeswara Rao et al., 1999).

Na fase reprodutiva, a ocorrência de temperaturas superiores a 35°C pode causar esterilidade das espiguetas. A fase mais sensível do arroz a altas temperaturas é a floração. No arroz, o processo reprodutivo inicia-se 1 hora depois do florescimento, quando ocorre a germinação dos grãos de pólen no estigma e o alongamento dos tubos de pólen. Esse momento é considerado o mais sensível a altas temperaturas. Temperaturas diurnas maiores que 33° C podem interromper esse processo.

Similarmente, temperaturas noturnas superiores que 29°C aumentam a susceptibilidade à esterilidade de espiguetas, causando reduções na produtividade de grãos (Satake & Yoshida, 1978). A segunda fase mais sensível é a pré-floração ou, mais especificamente, cerca de nove dias antes da emissão das panículas. Da mesma forma que para temperaturas baixas, há grandes diferenças entre genótipos quanto à tolerância a temperaturas altas (Yoshida & Parao, 1976).

Outros efeitos da alta temperatura no arroz são: a) aumento do centro branco nos grãos, tornando-os menos resistentes ao polimento, conseqüentemente, diminuindo a sua qualidade; b) redução na massa dos grãos (Yamakawa et al., 2007); c) redução no ciclo vegetativo da cultura; d) redução na taxa de translocação de matéria seca, no caso de altas temperaturas noturnas (Yang et al., 2005); e) redução no teor de amilose no grão (Terashima et al., 2001). Como efeito indireto, altas temperaturas podem levar à redução na quantidade de ferro disponível no solo, causando deficiência deste micronutriente na cultura do arroz de terras altas (Fageria & Stone, 2008).

Para cultivares insensíveis ao fotoperíodo, assumindo-se um suprimento adequado de água, a duração do período, da emergência à floração, é determinada, fundamentalmente, pela temperatura do ar. Um dos conceitos mais importantes para caracterizar o desenvolvimento da cultura do arroz é a soma térmica, ou graus-dia. Esse conceito expressa a disponibilidade energética do meio e pode ser caracterizado como o acúmulo diário de temperaturas que se situam acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta (Ometto, 1981). O método utilizado para caracterizar as exigências térmicas da cultura pode ser expresso da forma:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_m - T_b)$$

em que, GD são os graus-dia acumulados no período;  $T_m$  é a temperatura média diária (°C);  $T_b$  é a temperatura base;  $n$  o número de dias do período considerado.

Para cultivares de sequeiro, Souza & Costa (1992) mostraram que, na região de Uberaba-MG, a temperatura base variou de acordo com a cultivar. Os valores encontrados foram 10, 12, 14 e 15°C, respectivamente, para IAC 47, IAC 164, IAC 165 e IAC 25. Entretanto, para cultivares irrigadas, de ciclos precoce, médio e longo, Infeld et al. (1998) determinaram uma  $T_b$  de 11°C, não havendo variações entre as cultivares. Os modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz, Ceres-Rice e ORIZA, utilizam, como temperatura base, 8 e 9 °C, respectivamente.

As exigências térmicas das cultivares de sequeiro variam de acordo com a data de semeadura, com o período considerado e com o ciclo. A soma térmica necessária para completar o ciclo (emergência-maturação) das cultivares de sequeiro variou entre 1029,7 GD, para a cultivar IAC 165 e, 2021,0 GD, para a cultivar IAC 47.

Para as épocas normais de semeadura, na região dos Cerrados, em principio, não ocorre influência negativa acentuada das baixas temperaturas. Isso porque, na maioria das localidades, a temperatura média das mínimas, nos meses de janeiro e fevereiro, período que geralmente coincide com o estágio reprodutivo da cultura, é superior a 17°C. Entretanto, nas localidades de maior altitude, é possível que haja alguma influência dessa variável. Em Planaltina-GO, por exemplo, a temperatura mínima média, nos meses de janeiro e fevereiro, é de 16,6 e 17,3°C, respectivamente (Fageria, 1984). Isso sugere que, pelo menos durante algumas horas, em alguns dias, a temperatura pode atingir valores iguais ou inferiores a 15°C. Caso esses valores de temperatura ocorram durante a fase mais crítica da planta, é provável que haja alguma influência na esterilidade das espiguetas e, conseqüentemente, na produtividade do arroz.

A influência das baixas temperaturas pode ser bastante acentuada para as semeaduras efetuadas fora da época recomendada. Os resultados obtidos por Fageria (1984), em Goiânia-GO, indicam que o final da fase reprodutiva e o início da fase de maturação não devem coincidir com os meses de maio, junho, julho e agosto, quando a temperatura mínima está abaixo da requerida pela cultura. Altos índices de esterilidade das espiguetas e, conseqüentemente, baixos níveis de produtividade, de quatro cultivares de sequeiro, foram registrados no plantio efetuado em 30 de abril. Para esta mesma localidade, Lobato & Silva (1995) mostram, da mesma forma, que as condições climáticas

não permitem um bom desempenho da cultura de sequeiro fora da época convencional de semeadura (outubro a dezembro), mesmo contando com a possibilidade de se fazer irrigação suplementar. Nas semeaduras efetuadas entre fevereiro e setembro, a cultura de sequeiro apresentou alongamento do ciclo, diminuições do porte da planta, do índice de área foliar e da produtividade, devido à ocorrência de baixas temperaturas e à influência do fotoperíodo sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Dentre as distintas regiões produtoras de arroz irrigado, no Brasil, o Estado do Rio Grande do Sul é onde a ocorrência de baixas temperaturas exerce a maior influência na produtividade da cultura. As fases da cultura, nessa região, mais afetadas pelas baixas temperaturas, são germinação, emergência e fase reprodutiva (Steinmetz et al., 2006). Baixas temperaturas são responsáveis por aumento no ciclo vegetativo da cultura.

Atualmente, devido ao longo período de seleção e adaptação (programas de melhoramento vegetal), as cultivares de arroz estão tornando-se gradualmente insensíveis às exigências térmicas para o desenvolvimento e crescimento, podendo ser adaptadas a regiões de altas latitudes, caracterizadas por baixas temperaturas e dias longos, durante o período de crescimento da cultura (Weiet al., 2008).

### 2.3 Radiação solar

A radiação solar que atinge a superfície da Terra, também conhecida como radiação global ( $R_s$ ), é considerada a fonte de energia para a fotossíntese e para a evapotranspiração das plantas. A  $R_s$  é formada por dois componentes: a radiação direta (fração da radiação global que não interagiu com a atmosfera) e a radiação difusa (fração da radiação global que interagiu com os constituintes da atmosfera e foi re-irradiada em todas as direções). A proporção da radiação difusa, em relação a global, é máxima nos instantes próximos ao nascer e ao pôr do sol e nos dias completamente nublados, quando toda a radiação global é difusa.

No processo de fotossíntese, as plantas utilizam apenas uma fração da radiação incidente, no comprimento de onda entre 0,4 e 0,7 micra ( $\mu$ ), denominada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). A RFA é de, aproximadamente, 50% da radiação global incidente (Monteith, 1972).

Sombreamento durante a fase vegetativa pode ter influência sobre a produtividade e seus componentes. Nesta fase, deve-se maximizar a interceptação da radiação solar. A produtividade é fortemente influenciada, contudo, quando o sombreamento ocorre durante as fases reprodutivas e de maturação, reduzindo, respectivamente, o número de espiguetas e a percentagem de grãos obtida (Yoshida & Parao, 1976). Radiação solar na faixa de 300 a 600 cal/cm<sup>2</sup>/dia, após o florescimento, está positivamente correlacionada com o número de grãos cheios por panículas, variando de 50 a 180 (Oldeman et al., 1987). Na fase de maturação, a radiação solar influencia a percentagem de grãos cheios e, também, a massa dos grãos (Venkataraman et. al., 2008). Nesta fase, um acúmulo de 14000 cal/cm<sup>2</sup>, com 6 a 7 horas de sol por dia, é considerado ótimo para o rendimento de grãos (Moomaw & Vergara, 1964).

A distribuição da luz em uma comunidade vegetal é determinada pelo índice de área foliar (IAF) e pelo coeficiente de extinção que, por sua vez, é determinado pelo ângulo das folhas. Para a cultura do arroz, o IAF varia de acordo com a fase de crescimento, apresentando o seu máximo valor ao redor do florescimento. A partir daí, há uma redução do IAF devido à senescência das folhas. Para o arroz inundado, em condições ótimas de crescimento, foram observados valores máximos de IAF variando de 10 a 12, com uma produção de fitomassa seca total entre 18 e 22 t ha<sup>-1</sup> e produtividade de grãos em torno de 10 t ha<sup>-1</sup>. Já para o arroz de terras altas, foram observados IAF entre 4,5 e 6,3, associados à boa disponibilidade de água e de radiação solar, para uma produtividade máxima de 4,5 t ha<sup>-1</sup> (Pinheiro, 2006).

A análise da disponibilidade de radiação solar, durante o ciclo da cultura do arroz, em distintas regiões produtoras do Brasil, mostra que o valor mais alto ocorre na localidade de Xanxerê-SC (538 cal.cm<sup>2</sup>.dia) e, os mais baixos, são registrados em Sena Madureira-AC (395 cal.cm<sup>2</sup>.dia) e em Porto Velho-RO (397 cal.cm<sup>2</sup>.dia). Nas demais localidades estudadas, a radiação solar varia de 450 a 520 cal.cm<sup>2</sup>.dia. Considerando-se que o número de espiguetas aumenta com a radiação solar até 500 cal.cm<sup>2</sup>.dia (Yoshida & Parao, 1976), a produtividade em Sena Madureira-AC poderá ser afetada por este fator.



A eficiência do uso da radiação (EUR, g MJ<sup>-1</sup>), definida como a razão entre a biomassa aérea produzida (g.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>) pela planta e a quantidade de RFA (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>) interceptada, que sob condições ótimas de desenvolvimento é considerada linear, é um parâmetro essencial, nos modelos de simulação de crescimento de culturas, para simular o acúmulo de biomassa, o rendimento e para prever o potencial produtivo. Para o arroz, cultivado em condições ótimas (sem estresse hídrico e nutricional), alguns valores de EUR, encontrados na literatura, foram de 1,11 a 1,39 g MJ<sup>-1</sup> (Sinclair et al., 1999)

## 2.4 Fotoperíodo

A duração do dia, definida como o intervalo entre o nascer e o pôr do sol, é conhecida como fotoperíodo. A resposta da planta ao fotoperíodo é denominada fotoperiodismo. Sendo o arroz uma planta de dias curtos, dias de curta duração (10 horas) encurtam o seu ciclo, antecipando a floração. Yoshida (1976) caracterizou os principais aspectos relacionados à sensibilidade da cultura do arroz ao fotoperíodo, ou seja, os pontos que merecem destaques são: a) a fase de desenvolvimento vegetativo do arroz pode ser dividida em fase vegetativa básica (BVP) e fase sensível ao fotoperíodo (PSP), sendo a PSP, de cultivares pouco sensíveis ao fotoperíodo, menor que 30 dias e, a das cultivares consideradas sensíveis ao fotoperíodo, maior que 30 dias; b) o fotoperíodo “ótimo” é considerado o comprimento do dia no qual a duração, em dias, do período entre a emergência e a floração, é mínima; c) o fotoperíodo “ótimo”, para a maioria das cultivares, situa-se entre 9 e 10 horas; d) o fotoperíodo crítico é o maior fotoperíodo no qual a planta irá florescer, ou, o fotoperíodo, além do qual, a planta não irá florescer; e) a reação das plantas de arroz ao fotoperíodo pode ser classificada em *insensível* – quando a PSP é curta (inferior a 1 dia) e a BVP varia de curta a longa; *pouco sensível* – aumento acentuado no ciclo da planta quando o fotoperíodo é maior do que 12 horas, a duração da PSP pode exceder 30 dias, mas a floração irá ocorrer em qualquer fotoperíodo longo; *muito sensível* – grande aumento no ciclo, com o incremento no fotoperíodo. Não há florescimento além do fotoperíodo crítico e, a BVP é, normalmente, pequena (não mais do que 40 dias) (Steinmetz et al., 2006)

De modo geral, pode-se dizer que, para as principais regiões produtoras do país, o fotoperíodo não chega a ser um fator limitante, se observadas as épocas recomendadas de semeadura. Isso porque, no processo de adaptação e, ou, de criação de novas cultivares, selecionam-se aquelas que apresentam comprimentos de ciclo compatíveis com as características fotoperiódicas da região. Entretanto, o fotoperíodo pode ser um fator limitante quando se pretende produzir arroz fora das épocas tradicionais de cultivo. Atualmente, devido ao longo período de seleção e adaptação (programas de melhoramento vegetal), as cultivares de arroz estão tornando-se gradualmente insensíveis ao comprimento do dia (fotoperíodo) para o desenvolvimento e o crescimento, podendo ser adaptadas a regiões de altas latitudes, caracterizadas por baixas temperaturas e dias longos, durante o período de crescimento da cultura (Weiet al., 2008)

## 2.5 Vento

A planta de arroz requer velocidades baixas do vento para repor o suprimento de CO<sub>2</sub> por meio da turbulência do dossel da cultura. Entretanto, a velocidade do vento pode, indiretamente, afetar o desempenho da cultura do arroz. Locais que apresentem velocidades do vento, relativamente altas, na época do início do período vegetativo, estão sujeitos a maior perda de água por evaporação, podendo sofrer períodos de deficiência hídrica. Dependendo, também, da intensidade do vento, pode ocorrer diminuição na umidade relativa do ar, prejudicando a polinização. As cultivares de arroz que apresentam maior altura são susceptíveis ao acamamento causado pelos ventos com velocidades superiores à normal. A qualidade dos grãos de arroz também pode ser positiva ou negativamente afetada pelo vento, considerando as relações deste com a temperatura do ar e com a umidade relativa.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuva intensa

Há diversos relatos na mídia sobre os impactos negativos na rizicultura de chuvas intensas e de granizo, considerados eventos extremos. De acordo com a definição utilizada pelo PROAGRO (Cunha, 1999), uma chuva é definida como intensa se tal precipitação for igual ou superior a 100 mm h<sup>-1</sup>. Para ambos os eventos extremos, as fases reprodutiva, principalmente após a emissão da panícula, e o enchimento de grãos são as mais sensíveis.

Chuvas intensas geralmente estão associadas a ventanias e podem ocasionar o acamamento, a degrana das panículas e a perda do ponto de colheita.

Os maiores danos causados pelo granizo são devidos ao impacto da força e do peso do hidrometeoro sólido sobre a planta. Na fase reprodutiva, os danos maiores são ocasionados, principalmente, a partir da emissão da panícula, ocasionando o acamamento da planta. Na fase de enchimento de grãos, os danos causados são, também, devidos ao acamamento da planta e, principalmente, a degrana das panículas.

#### 3.2 Seca e veranico

Na maior região produtora de arroz inundado do Brasil, nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a seca ou estiagem não é um fator limitante à produção. Em geral, a quantidade de chuva ocorrida durante o ano é suficiente para repor o volume de água dos mananciais para irrigação, das lagoas, barragens e rios. Porém, em alguns anos, devido à ocorrência do fenômeno “La Niña”, pode ocorrer estiagem em agosto e setembro (Steinmetz et al., 2006), podendo provocar o atraso da semeadura, pela incompleta reposição do volume de água dos mananciais. Para o arroz inundado, produzido nas várzeas tropicais, e o arroz de terras altas (Região Centro-Oeste), a seca, quando ocorre, atrasa o período de semeadura, que depende da precipitação pluvial para emergir. No Estado de Minas Gerais, nos anos de ocorrência do fenômeno “El Niño”, foram observadas chuvas abaixo da média no nordeste do Estado e, acima da média climática, no sudoeste. Neste Estado, as estiagens, ao norte e nordeste, corresponderam a períodos superiores a 15 dias e, as chuvas acima da média, no sudoeste, correlacionaram-se melhor com os veranicos de duração de três a seis dias (Minuzzi et al., 2005).

A definição de veranico para as regiões tropicais é muito divergente, a começar pelo que se considera como um dia seco. Chatfield (1966) recomenda o valor de 1 mm de chuva diária, abaixo do qual considera dia seco. Castro Neto & Vilella (1986) consideram veranico os períodos de precipitação pluvial inferiores a 3 mm, enquanto outros aceitam o limiar de 1 mm (Assad & Sano, 1998). Outros, ainda, consideram veranico a ocorrência de precipitação inferior a 5 mm, num período de sete dias (Silva et al., 1981). Em relação ao número mínimo de dias, também, há controvérsias. O Portal AGRITEMPO ([www.agritempo.gov.br/](http://www.agritempo.gov.br/)) define veranico como estiagem durante a estação chuvosa, com dias de calor e insolação intensos, com duração mínima de quatro dias. Veranicos podem ocasionar deficiência hídrica na planta de arroz, isto é, uma condição na qual a quantidade de água no sistema, por precipitação, é menor que a quantidade total de água perdida por evaporação e por transpiração. Esta situação é mais freqüente no sistema de cultivo de arroz de terras altas e seu impacto na produtividade depende da fase fenológica da cultura, do genótipo e do tipo de solo. Para a cultura do arroz, a fase reprodutiva é considerada a fase mais sensível à deficiência hídrica, especificamente, entre 20 dias antes e 2 dias após o florescimento (O’Toole 1982). Vários estudos (Souza & Peres, 1998; Hernandez et al., 2003) têm quantificado as probabilidades de ocorrência de veranico, ou seja, de dias sem precipitação.

Mais interessante, contudo, é quantificar os padrões de deficiência hídrica, para uma determinada cultura, em um determinado período de semeadura. Heinemann et al. (2008) utilizaram um modelo de simulação do crescimento e desenvolvimento da cultura do arroz e quantificaram três diferentes padrões de deficiência hídrica para a cultura do arroz de terras altas, cultivada no Estado de Goiás, para o período de semeadura da safra que, na região, é de novembro a dezembro. Tais padrões foram denominados L (sem deficiência hídrica), M (com deficiência hídrica mediana na fase reprodutiva) e T (deficiência hídrica na fase terminal). O

padrão L apresentou a menor redução na produtividade, com maior frequência de ocorrência, quando não há impedimento físico para o desenvolvimento do sistema radicular. O padrão de deficiência hídrica M ocasionou uma redução na produtividade de 18% e 32%, para os solos sem impedimento físico (profundidade efetiva máxima do sistema radicular de 0,8 m) e com impedimento físico (profundidade efetiva máxima do sistema radicular de 0,4 m), respectivamente. Este padrão inicia-se no começo da fase reprodutiva (diferenciação da panícula,  $\pm$  500 graus-dias) e tem sua maior intensidade no final desta fase, ou seja, na emissão da panícula. Para condições limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular, este padrão é o predominante no Estado de Goiás, apresentando a maior frequência de ocorrência (48%). O padrão de deficiência hídrica T foi o mais severo, ocasionando uma redução na produtividade de 53% e 62%, para solos sem e com impedimento físico, respectivamente. Este padrão inicia-se na fase reprodutiva e estende-se até a fase de enchimento de grãos. Entretanto, tal padrão apresentou a menor frequência de ocorrência no Estado de Goiás.

Efeitos negativos do veranico, na produtividade, podem ser minimizados se a cultura do arroz for semeada nas épocas definidas pelo zoneamento agroclimático (Steinmetz et al., 2006).

### 3.3 Vento intenso

De acordo com o PROAGRO (Cunha, 1999) ventos com velocidades superiores a 75 quilômetros por hora são definidos como vendaval (número 09, na escala Beaufort). As fases mais críticas da cultura do arroz são as fases reprodutiva, principalmente após a emissão da panícula, e o enchimento de grãos. O principal dano causado pelo vendaval é o acamamento. Entretanto, em situações extremas, pode ocorrer a degrana das panículas.

### 3.4 Geadas

Baixas temperaturas podem paralisar o crescimento da cultura do arroz. Para as variedades *índica* e *japonica*, temperaturas abaixo de 20 e 15 °C, respectivamente, podem ser prejudiciais. O impacto destas temperaturas dependem do estágio de desenvolvimento da cultura, da variedade, do período de duração do fenômeno, da amplitude térmica e da condição fisiológica da planta. A Tabela 6 ilustra alguns danos da baixa temperatura em função do estágio da planta.

**Tabela 6. Danos causados à planta do arroz quando exposta à temperaturas baixas.**

Estádio de Crescimento	Danos causados por baixa temperatura na planta do arroz
Germinação	Retardo na germinação
Viveiro	Baixa emergência e pequeno crescimento.
Estágio inicial; transplante; perfilhamento; iniciação da panícula	Atraso no transplante; raízes pouco desenvolvidas; descoloração das folhas, menor número de perfilhos, atraso no crescimento e formação das panículas jovens; redução no tamanho das panículas.
Iniciação da panícula ao florescimento	Decréscimo no número de panículas; interrupção no crescimento das panículas; atraso ou não emissão das panículas.
Emissão de panículas	Atraso na emissão das panículas
Florescimento	Atraso no florescimento; não fertilização; não florescimento e baixo número de panículas.
Enchimento de grãos	Enchimento de grãos incompleto; descoloração dos grãos; paralisação do enchimento de grãos devido ao congelamento.

Fonte: Adaptado de Venkataraman et al. (2008)

Para o cultivo do arroz de terras altas, no Brasil, pode-se concluir que as possíveis perdas na produtividade, devidas às geadas, são consideradas quase nulas. Entretanto, isso poderá ocorrer para o arroz irrigado, cultivado no sul do Brasil, caso a cultura ocorra fora das épocas mais apropriadas. Foram desenvolvidos estudos para determinar períodos ótimos de semeadura do arroz inundado na região sul do Brasil, minimizando as perdas por geada. Para o Estado do Rio Grande do Sul, os períodos ótimos de semeadura são de 21 de setembro a 10 de dezembro e, para o Estado de Santa Catarina, de 11 de agosto a 10 de janeiro (Steinmetz & Braga, 2001).

### 3.5 Chuva excessiva

Tanto para o arroz irrigado por inundação quanto para o de terras altas, chuvas excessivas e freqüentes podem prejudicar o crescimento da planta, por reduzir a disponibilidade da radiação global durante o ciclo da cultura. No Rio Grande do Sul, esta situação pode ocorrer em função do fenômeno “El Niño” (Carmona & Berlato, 2002). Chuvas excessivas também prejudicam as práticas de manejo da cultura do arroz.

### 3.6 Chuvas na colheita

Uma das mais importantes decisões do produtor de arroz é a definição do período de semeadura, devendo preocupar-se, não apenas com o crescimento e o desenvolvimento da cultura, mas também com a época da colheita, que exige condições ambientais favoráveis. Caso a colheita coincida com época de muita chuva, os prejuízos são inevitáveis. Alguns relatos de prejuízos são citados na mídia, destacando-se:

- atraso na colheita, dificultando a implantação da 2ª safra (safrinha), em algumas regiões de cerrado do Brasil, onde, o arroz de terras altas é cultivado;
- formação de grandes sulcos na terra umedecida, ocasionados pela passagem das máquinas colhedoras, prejudicando a rebrota, principalmente, em áreas de arroz irrigado;
- redução na produtividade devido ao acamamento de plantas, em sistemas altamente produtivos.

### 3.7 Outros eventos adversos

Como se sabe, baixos valores de umidade relativa podem estar relacionados com altas temperaturas, situação que, por si só, pode causar aumento na esterilidade das espiguetas, principalmente quando ocorrem na floração (Matsui et al., 1999).

## 4. BIBLIOGRAFIA

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

BOUMAN, B. A. M.; TUONG, T. P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 49, p.11-30, 2001.

CARMONA, L. de C.; BERLATO, M. A. El Niño e La Niña e o rendimento do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 147-152, 2002.

CASTRO NETO, P.; VILELLA, E. A. Veranico: um problema de seca no período chuvoso. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p. 59-62, 1986.

CHATFIELD, C. Wet and dry spells. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 21, n. 3, p. 308-310, 1966.

CORRÊA, N. I. et al. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 50, n. 432, p. 3-8, 1997.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

CUNHA, G. R. **Seguro rural e garantia da atividade agropecuária no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 4 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 12). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co12.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co12.htm)>. Acesso em: 2 fev. 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Manual de métodos de pesquisa em arroz**. Santo Antônio de Goiás, 1977. 108 p.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 341 p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Deficiency problems in South America. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). **Micronutrient deficiencies in global crop production**. New York: Springer, 2008. p. 247-268.

GUIMARÃES, C. M. et al. Sistemas de cultivos. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

HEINEMANN, A. B. et al. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 162, p. 395-410, 2008

HERNANDEZ F. B. T. et al. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira D'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 21-30, jan. 2003.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

INFELD J. A.; SILVA, J. B. da; ASSIS, F. N. Temperatura-base e graus-dia durante o período vegetativo de três grupos de cultivares de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 187-191, 1998.

IBGE. 2006. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 17 dez 2007.

JONGDEE, B. et al. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: An example from Thailand. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 80, n. 1-3, p. 225-240, 2006.

LALITHA, K.; RAJI REDDY, D.; NARASIMHA RAO, S. B. S. Influence of temperature and sunshine hours on tiller production in lowland rice varieties. **Journal of Agrometeorology**, Gujarat, v. 1, p. 187-190, 1999.

LALITHA, K.; RAJI REDDY, D.; NARASIMHA RAO, S. B. S. Influence of temperature on duration of tillering in lowland rice varieties. **Journal of Agrometeorology**, Gujarat, v. 2, p. 65-67, 2000.

LOBATO, E. J. V.; SILVA, S. C. **Parâmetros meteorológicos, fenologia e produtividade do arroz de sequeiro sob condições de cerrado**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 11 p. (EMBRAPA-CNPAP. Comunicado técnico, 30).

MACHADO, S. L. O. et al. Determinação do consumo de água em cinco sistemas de cultivo do arroz irrigado. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis, SC. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 336-339. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; GOMES, A. da S.; SANTOS, A. B. **Sistema de cultivo de arroz irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 270 p. (Embrapa Clima Temperado. Sistema de produção, 3).

MANZAN, R. J. Irrigação por aspersão na cultura do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.10, n.114, p.38-40, 1984.

MATSUI, T.; OMASA, K.; HORIE, T. Mechanism of another dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.). **Annals of Botany**, London, v. 84, p. 501-506, 1999.

MINUZZI, R. B. et al. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.

MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 9, n. 3, p. 747-766, Dec. 1972.

MOOMAW J. C.; VERGARA, R. S. The environment of tropical rice production. In: IRRISymposium on Mineral Nutrition of Rice Plant. **Proceedings...** Baltimore: John Hopkins University Press, 1964. p. 3-13.

O'TOOLE, J. C. Adaptation of rice to drought prone environments. In: **DROUGHT resistance on crops, with emphasis on rice**. Los Bãnos: International Rice Institute, 1982. p.195-213.

OLDEMAN L. R.; SESHU, D. V.; CADDY, F. B. Response of rice to weather variables. In : SESHU, D.V.; LA RUE POLLARD, M.; CERVANTES, E. P. (Ed.). **Weather and Rice**. Manila: IRRIS, 1987. p. 5-39.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425 p.

PINHEIRO, B. da S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas a produtividade. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

PINHEIRO, B. da S.; GUIMARÃES, E. P. Índice de área foliar e produtividade do arroz de sequeiro. 1. Níveis limitantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 6, p. 863-872, 1990.

PINHEIRO, B. S. et al. Carbon isotope discrimination and yield of upland rice as affected by drought at flowering. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 10, p. 1939-1947, 2000.

SANTOS, A. B.; RABELO, R. R. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no estado do Tocantins**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 218).

SATAKE, T.; YOSHIDA, S. High temperature-induced sterility in indica rice at flowering. **Japanese Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 47, p. 6-10, 1978.

SILVA, M. M. P.; OLIVEIRA, N. F.; CAVALCANTI, N. B. Probabilidade de ocorrência de dias secos e chuvosos. **Boletim Técnico do Instituto Nacional de Meteorologia**, Brasília, DF, v. 20, n.146, p.51-90, 1981.

SINCLAIR, R. T.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 65, p. 215-265. 1999.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Santa Maria: SOSBAI, 2005. 159 p.

SOUSA, S. A. V. de; PERES, F. C. Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de rendimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n.12, p.1951-1956, dez. 1998

SOUZA, A.; COSTA, J. M. N. Temperatura base para cálculo de graus-dia para cultivares de arroz no Triângulo Mineiro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 45, n. 400, p. 24-28, jan./fev. 1992.

STEINMETZ, S. **Estudos agrometeorológicos na cultura do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1986. 11 p. (EMBRAPA. PNP Arroz. Projeto 001.80.002/8). Relatório final.

STEINMETZ, S. **Manejo de água na cultura do arroz**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 16 p. (EMBRAPA. PNP Arroz. Projeto 001.80.017/6). Relatório Final.

STEINMETZ, S.; BRAGA, H. J. Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 429-438, 2001.

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C.; SANTANA, N. M. P. Clima. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.) **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

STONE, L. F. et al. Consumo de água na consorciação arroz de terras altas-*Brachiaria brizantha* em comparação com o arroz solteiro. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis, SC. **Anais...**Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 328-330. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 3, p. 323-337, 1990.

STONE, L. F.; OLIVEIRA, A. B.; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.14, n. 3, p. 295-301, 1979.

STONE, L. F.; SILVA, S. C. **Uso do tanque classe A no controle da irrigação do arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 2 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Pesquisa em Foco, 28).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Irrigação por aspersão nas culturas do feijoeiro e do arroz de terras altas. **Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 58, p. 28-36, 2003.

- TABBAL, D. F. et al. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 56, p. 93-112, 2002.
- TERASHIMA, K. et al. Effects of high air temperature in summer of 1999 on ripening and grain quality of rice. **Japanese Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 70, n. 3, p. 449–458, 2001.
- TOESCHER, C. F.; KÖPP, L. M. Produtividade do arroz sob irrigação por aspersão, em Uruguaiana-RS. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis, SC. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 405-406. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).
- TUONG, T. P.; BHUIYAN, S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: farm-level perspectives. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 40, p.117-122, 1999.
- VAUGHAN, D. A.; MORISHIMA, H.; KADOWAKI, K: Diversity in the *Oryza* genus. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 39-146, 2003.
- VENKATARAMAN, S.; STEINMETZ, S.; CRUZ, R. T. Agrometeorology and rice production In: **Guide to agricultural meteorological practices (GAMP):** Draft. 3. ed. Geneva: WMO, 2008. Cap. 13 F. (WMO (series), n.134).
- VERGARA, B. S.; CHANG, T. T. **The flowering response of the rice plant to photoperiod**, 4. ed. Los Baños: IRRI, 1985. 61 p.
- WEI, X. et al. Genetic analyses of heading date of Japonica rice cultivars from Northeast China, **Field Crops Research**, Amsterdam, v.107, n.2, p.147-154, May 2008.
- WICKHAM, T. H.; SEN, C. N. Water management for lowland rice: water requirements and yield response. In: **Soils and rice**. Los Baños: IRRI, 1978. p.649-669.
- YAMAKAWA, H. et al. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 144, p. 258–277. 2007.
- YANG, Z. et al. Modeling of translocation rate of dry matter from vegetative organs to panicle as influenced by air temperature in rice. **Japanese Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 74, n. 1, p. 65–71, 2005.
- YOGESWARA RAO, A. et al. Simple bio-meteorological model for yield forecasting of low land rice in Andhra Pradesh. In: SINGH, S. V. et al (Ed.). **Proceedings of the National Workshop on Dynamic Crop Simulation Modeling for Agrometeorological Advisory Services in India**. New Delhi: Department of Science and Technology, 1999. p. 305-313.
- YOSHIDA, S.; PARAO, F. T. **Climatic influence on yield components of lowland rice in the tropics**. Los Baños: IRRI, 1976. p. 471-494.





# AVEIA

Foto: Kliverap (usuário do Stock.xchng)





## 1. INTRODUÇÃO

O cultivo de aveia concentra-se no sul do Brasil, com o objetivo de produzir grãos para alimentação humana e animal, e como forrageira, para pastejo e cortes, na forma de feno ou silagem. É também utilizada como cobertura verde ou morta do solo, visando à semeadura direta das culturas de verão, como a soja e o milho.

Aveia é um cereal de clima temperado, originário do Mediterrâneo, largamente distribuído nas mais diferentes regiões do mundo, devido à sua grande variabilidade genética (Coffman, 1961), resultado dos avanços conquistados pelo melhoramento genético.

Aparentemente, o gênero *Avena* foi estabelecido por Tournefort em 1770, porém, a maioria das espécies foi descrita por Linnaeus, em 1750 (Matz, 1969), reconhecendo-se, hoje, 27 diferentes espécies Baum (1977). A aveia é um poliplóide, podendo-se classificar as espécies, de acordo com o grau de ploidia, em diplóides ( $2n=2x=14$ , genoma AA), tetraplóides ( $2n=4x=28$ , genoma AACC) e hexaplóides ( $2n=6x=42$ , genoma AACCCDD), conforme Matz (1969) e Shands & Cisar (1988).

As principais espécies cultivadas no Brasil são a aveia-branca ou amarela (*Avena sativa* L.) e a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb). No entanto, existem várias espécies silvestres, descritas como plantas daninhas de inverno, como a *Avena fatua* (hexaplóide) e a *Avena barbata* (tetraplóide).

As cultivares de aveia-branca ou amarela são anuais, hexaplóides e destinam-se à produção de grãos de alta qualidade industrial, caracterizadas pelo maior tamanho da cariopse, pelo alto peso do hectolitro e pela alta porcentagem de grãos descascados, em relação ao grão inteiro (rendimento industrial). Dentro destas espécies, encontram-se cultivares consideradas de duplo propósito, pois além da produção de forragem verde, podem ser colhidos grãos a partir do rebrote. A aveia-preta (diplóide) caracteriza-se pela alta produção de matéria seca, resistência ao pisoteio e tolerância a solos ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes. Seus grãos, no entanto, não apresentam qualidade industrial, sendo o cultivo indicado, preferencialmente, para a formação de pastagens, de forma isolada ou consorciada com outras forrageiras, destinando-se ainda à elaboração de feno e, ou, silagem, bem como cobertura verde ou morta, para outras lavouras conduzidas sob semeadura direta.

O hábito de crescimento é cespitoso, podendo atingir uma estatura de planta de 0,70 m a 2 m. Em relação às características botânicas, a aveia apresenta um sistema radicular fibroso e fasciculado, com raízes seminais e adventícias. Os colmos são eretos, cilíndricos e compostos de uma série de nós e entrenós. Os nós são sólidos, enquanto os entrenós são cheios, quando verdes e, ocos, quando maduros. As folhas apresentam uma lígula bem desenvolvida e ausência de aurícula, o que diferencia a aveia de outros cereais de clima temperado, como o trigo, a cevada, o triticale e o centeio. A inflorescência da aveia é uma panícula piramidal, terminal e aberta, apresentando espiguetas que contêm de um a três grãos (Bonnett, 1961).

O grão de aveia é uma cariopse, termo utilizado para designar frutos pequenos, secos, indeiscentes, semente única por fruto, com uma fina camada de pericarpo, originário do ovário superior (Bonnett, 1961). Na maioria das espécies de aveia, o lema e a palea (glumas florais) permanecem aderidas ao grão após a trilha, como nas aveias brancas, amarelas e pretas. Já na *Avena nuda*, espécie que ainda não é cultivada no Brasil, as glumas se separam do grão durante a trilha.

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UPF - CAMPUS I, Bairro São José, C.P. 611, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: floss@upf.br

2- Eng. Agrônomo, Mestre. Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: caierao@cnpt.embrapa.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: cunha@cnpt.embrapa.br

4- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: pires@cnpt.embrapa.br

A produtividade de uma cultura pode ser limitada por diversos fatores físicos relacionados com o ambiente (Mahon, 1983). No entanto, o conceito de ambiente, geralmente, refere-se somente a uma cultura específica, numa mesma condição de meio.

Sob o ponto de vista econômico, a produção de grãos aumentou, no Brasil, de 37 mil t, em 1976, para 253 mil t previstas para a safra 2008/2009, sendo os Estados do Paraná (104 mil t) e Rio Grande do Sul (148 mil t) os maiores produtores (Companhia..., 2009), seguidos de outros Estados, como Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. O aumento da oferta interna de grãos de aveia eliminou a necessidade de importação deste cereal, representando uma poupança de divisas ao país. Além do aumento da disponibilidade interna, ocorreu também melhoria na qualidade industrial dos grãos produzidos, em termos de aumento do peso do hectolitro, do maior tamanho dos grãos e da menor percentagem de casca (Floss, 2002).

### 1.1 Fenologia

O desenvolvimento da aveia, no período compreendido entre a emergência e a iniciação floral, constitui a fase vegetativa, seguindo-se a fase reprodutiva, que termina na antese (Brouwer, 1986). A partir da antese, até a maturação, ocorre a fase de formação de grãos. Esta classificação considera apenas as mudanças morfológicas externas, apresentadas pelas plantas. Para Bonnett (1961), o ciclo completo de desenvolvimento da planta de aveia, desde a germinação até a maturação da semente, pode ser dividido em 4 fases, ou seja, fase vegetativa, fase de transição, fase reprodutiva e fase de formação da semente ou grão. A fase vegetativa compreende, desde a emergência da plântula até a diferenciação do primórdio floral (estádio de 3-4 folhas). A fase de transição estende-se até a emissão da panícula (antese), a partir da qual se inicia a fase reprodutiva (polinização e fertilização), e, por último, a fase de desenvolvimento dos grãos. A duração de cada fase difere, dependendo da espécie ou cultivar de aveia, da época de semeadura ou do grupo de maturação (Ross, 1955).

Zadoks et al. (1974) dividiram o ciclo de desenvolvimento de cereais de inverno, incluindo a aveia, em 10 estádios principais (escala decimal) e, cada estádio principal, em 10 estádios secundários, resultando em 100 diferentes estádios, durante o desenvolvimento completo (Tabela 1).

**Tabela 1. Código decimal dos estádios principais de crescimento de cereais de inverno (adaptado de Zadoks et al., 1974).**

Estádio	Descrição
0	Germinação
1	Crescimento das plântulas
2	Perfilhamento
3	Elongação do colmo
4	Emborrachamento
5	Emergência da inflorescência
6	Antese
7	Formação do grão
8	Grãos em estado leitoso
9	Maturação

A germinação, o crescimento, o desenvolvimento e a maturação da planta de aveia resultam de processos bioquímicos e fisiológicos que são ativos em tecidos específicos e em estádios de crescimento, sendo as propriedades, morfológicas e químicas, determinadas pelo nível de atividade destes vários processos (Peterson, 1992). O processo germinativo e a fase inicial do crescimento são favorecidos por períodos de baixas temperaturas, pois as geadas favorecem o perfilhamento. Entretanto, pequena porcentagem de sementes germina em temperaturas próximas a 0°C.

As fases fenológicas, do desenvolvimento da aveia até a antese, são largamente influenciadas por fatores ambientais, como o comprimento do dia, a temperatura e a vernalização (nos genótipos de inverno). Observa-se uma diminuição progressiva do tempo da semeadura até a emergência da panícula, na medida em que aumenta o comprimento do dia (Major, 1980). Nas condições do Centro-sul do Brasil, as cultivares de aveia-branca recomendadas, avaliadas de 1992 a 1996, apresentaram um ciclo total médio entre 124 e 139 dias (Floss, 2001).

Em algumas cultivares, as alterações nas condições ambientais causam efeitos na iniciação do afilhamento (Evans & Wardlaw, 1976). Para que ocorra um bom perfilhamento, as raízes devem estar supridas de nutrientes e carboidratos, para que os filhotes fiquem bem favorecidos na presença de adequada luminosidade e nutrição.

Na maturação, a cultura exige altas temperaturas e baixa umidade, condições ideais para a colheita, evitando-se, assim, a perda de grãos e favorecendo o aumento do teor de proteína. Adicionalmente, para a indústria, o grão não deve receber chuva após a maturação, o que evitará que ele adquira coloração escura, condição indesejável para a produção de flocos ou farinha do cereal.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

O clima é um fator primordial na produção de aveia, cereal cultivado nas regiões frias da Europa e considerado, por muito tempo, menos resistente ao calor. Hoje, porém, verifica-se a adaptação de cultivares em regiões de climas mais quentes, tais como a Argélia. Excetuando-se as regiões equatoriais quentes e úmidas, a aveia pode ser considerada cultura cosmopolita, sendo cultivada entre as latitudes de 65° norte e 45° sul (Bellido, 1991).

A aveia exige do ambiente o suprimento adequado de água, oxigênio, gás carbônico, nutrientes, luz e temperatura. Como as plantas só crescem quando suas células estão túrgidas, pode-se concluir que a água é um fator determinante para o crescimento e o desenvolvimento.

### Altitude

Quanto à altitude, a aveia pode ser cultivada tanto ao nível do mar quanto a 1.000 m acima, a exemplo dos Alpes e dos Pirineus (Bellido, 1991). Adapta-se a todas as regiões, não tolerando, apenas, as áreas excessivamente úmidas, onde é alta a incidência de ferrugem da folha.

No sul do Brasil, as regiões com maior potencial de rendimento e melhor qualidade industrial de grãos são aquelas de maior altitude, como a região de Vacaria, RS, Campos Novos, SC, Guarapuava e Mauá da Serra, PR. A principal razão é que, nessas regiões, o subperíodo da floração à maturação é mais longo, proporcionando alta atividade fotossintética, durante o dia, e baixa atividade respiratória, durante a noite, consequência da menor temperatura noturna.

### 2.1 Necessidades hídricas

Aparentemente, a aveia cultivada (*Avena sativa* L.) requer maior teor de umidade para a formação unitária de matéria seca, em relação a outros cereais, como o trigo, a cevada e o centeio, com exceção do arroz (Shands & Chapman, 1961). Como se vê na Tabela 2, a quantidade de água necessária para a produção de uma unidade de peso de grãos de aveia é maior que o trigo e a cevada. Entretanto, a aveia pode suportar longos períodos de deficiência hídrica, recuperando-se rapidamente, devido, possivelmente, ao seu amplo e profundo sistema radicular.

A água é requerida, com maior intensidade, nos estádios de florescimento até o início de formação de grãos. Segundo Bellido (1991), a aveia necessita, aproximadamente, 1,5 vezes mais água que o trigo e a cevada, para formar um kg de matéria seca. Segundo Coffmann & Frey (1961), a aveia requer de 300 a 600 g mais água para cada kg de matéria seca produzida, quando comparada a outros cereais de inverno, como trigo, centeio e cevada. Para a germinação, as sementes de aveia exigem um mínimo de 32 a 35% de umidade, semelhante ao trigo, cevada, triticale centeio.

Para Sorrels & Simmons (1992), o rendimento da aveia é maior em regiões com adequada, mas não excessiva, precipitação pluvial. Seu cultivo é indicado, preferencialmente, para regiões com uma precipitação anual de 380 a 1.140 mm (Brown, 1975 apud Sorrels e Simmons, 1992).

Os coeficientes de cultura (Kc), para aveia, representando a relação entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência, são 0,30 (fase inicial), 1,15 (meio da estação de crescimento) e 0,25 (final da estação de crescimento), conforme especificação de Allen et al. (1998). Considerando-se um ciclo médio de 135 dias, nos moldes propostos por Allen et al. (1998), as fases da aveia, para fins de manejo de água, usando-se Kc, seriam de 20 dias (fase inicial), 25 dias (fase de desenvolvimento da cultura), 60 dias (meio da estação de crescimento) e 30 dias (final da estação de crescimento).

Nos Estados do Rio Grando do Sul, Santa Catarina e sul do Paraná, no período de inverno, a deficiência hídrica é esporádica e de curta duração, não havendo necessidade de irrigação. No Brasil Central, o cultivo de aveia deve ser realizado na épocas das chuvas (janeiro a maio) ou, sob irrigação, no período de maio a outubro.

**Tabela 2. Eficiência do uso de água em cereais (Shantz & Premeisel apud Good & Bell, 1980).**

Espécie	Moles de água transpirada/moles de CO <sup>2</sup> fixado
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	928
Cevada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	863
Aveia ( <i>Avena sativa</i> L.)	972
Centeio ( <i>Secale cereale</i> L.)	1.057
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.)	1.137

## 2.2 Temperatura

A faixa de variação da temperatura é compatível com o crescimento vegetal, variando de espécie para espécie. Dentro de tal variação, existe uma temperatura ótima, cujo valor dependerá, também, de outras condições que controlam o crescimento. A temperatura ótima, para o crescimento, varia entre os órgãos da planta e altera-se, conforme seu desenvolvimento (Street & Öpik, 1974).

Com vistas à obtenção de máximos rendimentos e boa qualidade de grãos, a aveia é considerada uma planta de estação fria, requerendo baixas temperaturas, da germinação à fase de enchimento de grãos (Coffmann & Frey, 1961). O crescimento da cultura é paralisado sob temperaturas de, aproximadamente, 0°C, e a mortalidade de plantas ocorre sob temperaturas de -10°C, para cultivares de aveia de primavera e, de -14°C, para cultivares de inverno (Bellido, 1991).

O processo germinativo é favorecido por períodos de baixas temperaturas, próximas a 7°C. Além disso, o frio também favorece a fase inicial do crescimento, pois as geadas favorecem o afilamento. Em temperaturas acima de 7°C, ocorrem germinações de mais de 90% das sementes não dormentes (Coffman, 1977). Após 8 dias, sob temperaturas de, aproximadamente, 4 e 2°C, a germinação reduz-se para 72% e 2%, respectivamente. Sob temperaturas próximas de 0°C, germina apenas uma pequena porcentagem de sementes.

Entre os estádios de emissão da panícula e a maturação, a temperatura considerada ideal, para obtenção de rendimentos elevados, variou de 9 a 15°C, decrescendo, significativamente, quando a temperatura excedeu aos 15°C (Buras, 1982 apud Sorrels & Simmons, 1992). Segundo os mesmos

autores, o comprimento do período de enchimento de grãos foi reduzido em mais de 50%, quando a temperatura aumentou de 9 para 24 °C.

Hellewell et al. (1996) verificaram aumentos de 87% no rendimento de grãos, 51% no peso de grãos, 27% no período de enchimento de grãos e 45% na taxa de enchimento de grãos, sob temperatura diurna de 15°C, comparativamente à temperatura diurna de 31°C e, noturna, de 15°C. Em relação às temperaturas noturnas, o rendimento aumentou em 24%, o peso de grãos em 12% e o período de enchimento de grãos em 27%, sob temperatura constante de 15°C, em comparação a 31°C (Hellewell et al., 1996).

Na maturação, a cultura tolera altas temperaturas diurnas, baixas temperaturas noturnas e baixa umidade, permitindo a colheita e evitando a perda de grãos. Baixas temperaturas, durante o período de desenvolvimento das sementes, podem elevar o nível de dormência das sementes produzidas. Sementes produzidas sob condições constantes de 20°C, durante o período de enchimento de grãos, produziram sementes com menor dormência que aquelas produzidas sob 15°C de temperatura (Richardson, 1979).

### 2.3 Radiação solar

A luz é um fator ambiental importante na produção de algumas cultivares, pois, além da fotossíntese, influi na germinação de sementes, no perfilhamento, no crescimento das folhas e na indução floral. Apesar de as plantas necessitarem de luz para a fotossíntese, elas podem crescer no escuro, aumentando o tamanho, o volume e o peso seco, desde que um suprimento de nutrientes orgânicos seja disponibilizado até completar o ciclo de vida da cultura.

O efeito da luz sobre o crescimento depende da espécie, da idade da planta (como condição prévia de crescimento), da intensidade luminosa e do comprimento de onda. As plantas jovens são mais sensíveis à inibição da alongação, pela luz, que as mais velhas. A inibição da alongação pela luz, supostamente, age por meio de um efeito sobre o suprimento dos hormônios de crescimento e da sensibilidade das células àqueles hormônios (Street & Öpik, 1974). A aveia, como os demais cereais de inverno, apresenta o mecanismo de fotossíntese do tipo  $C_3$  ou  $3C$ , correspondente ao número de carbonos do primeiro composto orgânico formado (fosfo-glicerato), a partir do  $CO_2$  absorvido. O gás carbônico é absorvido através dos estômatos, durante o dia, e assimilado sob a catálise da enzima ribulose-bisfosfato-carboxilase-oxidase, universalmente denominada de *Rubisco*. Esta enzima caracteriza-se pela baixa eficiência de assimilação, pois exige concentrações de  $CO_2$  superiores a  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , temperatura ideal entre 15 e 25°C e alta necessidade de água, para formar uma unidade de matéria seca (Taiz & Zeiger, 2004).

Como planta  $C_3$ , a aveia satura-se com baixa luminosidade. Segundo Stoskopf (1985), a taxa de assimilação de  $CO_2$  na aveia, aumentou de  $35 \text{ mgCO}_2 \text{ gMS}^{-1}$ , com 100% da iluminação solar plena, para  $40 \text{ mgCO}_2 \text{ gMS}^{-1}$ , com iluminação solar reduzida para apenas 30% (Tabela 3).

**Tabela 3. Taxa de fotossíntese ( $\text{mgCO}_2 \text{ gMS}^{-1}$ ) em cereais  $C_3$  e  $C_4$ , sob quatro intensidades luminosas, em condições de campo (adaptado de Stoskopf, 1985)**

Cereais	Intensidade de luz solar durante o crescimento (% da luz total)			
	100	70	50	30
Cereais $C_3$				
Trigo	36	38	27	38
Aveia	35	34	31	40
Arroz	35	42	41	39
Cereais $C_4$				
Sorgo	177	176	203	227
Milho	183	191	190	215

## 2.4 Fotoperíodo

A aveia, em relação à resposta ao fotoperíodo, é considerada uma planta de dias longos (ou noites curtas), apesar da grande diversidade genética existente (Shands & Cisar, 1988). Altas temperaturas aceleram o período reprodutivo, diminuindo a fase de enchimento de grãos, reduzindo, significativamente, a fase reprodutiva quando o comprimento do dia é inferior a 15 a 16 horas (Bellido, 1991) ou menos de 12 horas (Brouwer, 1986). Segundo Brouwer (1986), quando o fotoperíodo é maior que 18 a 19 horas, também não têm sido observadas respostas. A maior influência do fotoperíodo parece ocorrer nas cultivares originárias de regiões de grande latitude.

A duração, da fase de emergência à floração, reduz-se com o aumento do comprimento do dia, com pequena variabilidade entre genótipos. Em duas cultivares, sob condições controladas, submetidas a altas temperaturas (21°C, dia, e 15°C, noite) e dias longos (18h), Klink & Sim (1968) verificaram um encurtamento das fases de desenvolvimento da aveia, da iniciação floral, da antese e da maturação, a partir da emergência das plantas, independentemente de cultivar e das condições ambientais que precederam cada fase. O comprimento do dia exerceu maior efeito sobre a antese, enquanto a temperatura atuou mais sobre a taxa de desenvolvimento, a formação e a maturação dos grãos.

## 2.5 Umidade relativa

De maneira geral, para a expressão do máximo potencial de rendimento, a umidade relativa ideal deve ser superior a 70%, condição que baixa o gradiente entre o potencial energético da água, a folha e o ar atmosférico, diminuindo a transpiração. Com menor taxa transpiratória, os tecidos vegetais apresentam-se túrgidos, o que significa maior superfície foliar de absorção de luz, com os estômatos abertos e máxima absorção de gás carbônico. No entanto, alta umidade relativa do ar favorece a incidência de patógenos, o que exige maior monitoramento da lavoura e a realização de controle químico.

A alta umidade relativa, na fase de maturação, também é indesejável, pois atrasa a secagem dos grãos e aumenta o período entre a maturação fisiológica e a colheita. Dessa forma, ocorrem maiores perdas de reservas por respiração, reduzindo o vigor das sementes e a qualidade industrial dos grãos. Contrariamente, altas temperaturas e condições de secura, na maturação, favorecem o aumento do teor de proteínas no grão.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Chuva intensa e granizo

Normalmente, chuvas fortes e intensas não têm potencial destrutivo muito grande. Porém, quando associadas a ventos fortes, podem causar acamamento, desorganizando a estrutura do dossel, aumentando o auto-sombreamento e, muitas vezes, inviabilizando a colheita das áreas acamadas.

Como nos demais cereais de inverno, chuvas muito fortes passam a ter um efeito especialmente nocivo à cultura da aveia, quando possibilitam a formação e queda de granizo.

Até o perfilhamento, a capacidade de recuperação das lavouras pode ser considerada razoável, especialmente se houver uma adequada disponibilidade de nitrogênio no solo. Em lavouras atingidas após a alongação dos colmos, no emborrachamento e por ocasião da emissão das panículas, os danos são maiores, podendo trazer, inclusive, problemas de qualidade na colheita, produzindo grãos verdes e grãos maduros, pela falta de sincronização entre os afilhos.

Os danos ocasionados pelo granizo são do tipo desfolhamento, dilaceração de folhas, quebra de colmos, quebra parcial de panículas, acamamento de plantas etc. Granizadas, durante a fase de enchimento de grãos, podem causar perdas totais em lavouras de aveia e nos demais cereais de inverno (Cunha et al., 2001).

### 3.2 Seca e estiagens de curta duração

No sul do Brasil, estiagens curtas, de agosto a meados de setembro, são mais prejudiciais ao trigo e à cevada que à aveia. Isto se deve a dois fatores: a) o maior ciclo da aveia, em relação ao trigo e à cevada, permitindo uma recuperação do crescimento da aveia antes da fase reprodutiva; b) o maior sistema radicular da aveia, que permite a absorção de água em maior profundidade, chegando a atingir 40 a 50 cm, em solos bem estruturados.

A aveia, assim como os demais cereais de inverno, é muito sensível a estiagens no período de floração e de formação de grãos. Como consequência dos requerimentos hídricos, a aveia é sensível à murcha fisiológica, que ocorre sob temperaturas superiores a 28°C, especialmente durante a fase de formação de grãos, resultando numa redução do peso de grãos e num aumento proporcional do peso de cascas (Bellido, 1991), bem como no aumento da esterilidade.

Um déficit de água, no estágio reprodutivo, em particular na antese, reduz, significativamente, o rendimento da aveia (Dillman, 1931; Va der Paauw, 1949 apud Sorrels & Simmons, 1992).

### 3.3 Vento Intenso

De maneira geral, a estatura de plantas, das cultivares disponíveis de aveia, é maior quando comparada à cevada e ao trigo, mas menor que o centeio. Por tal razão, a cultura da aveia está sujeita ao acamamento, cujo dano é mais severo quando o fenômeno ocorre a partir da fase de floração.

O acamamento reduz o potencial de rendimento de grãos das lavouras e, principalmente, a qualidade do grão, devido ao contato com a umidade do solo.

### 3.4 Geadas

A aveia-branca, na fase vegetativa, é considerada mais tolerante a geadas que os demais cereais de inverno, apesar da ampla variabilidade genética existente quanto a esta característica; contrariamente, a aveia-preta é mais sensível a geadas nesta fase de desenvolvimento. A partir da antese, os danos por geadas são praticamente irreversíveis, causando esterilidade (Sorrels & Simmons, 1992).

Segundo Kinbacker (1962), as condições ambientais em que a semente é produzida são determinantes na tolerância das plântulas à geada, na próxima geração. Em estudos realizados por Marshall (1969), plantas com maiores teores de nitrogênio nos grãos apresentaram menor capacidade de resistir à geada; por outro lado, o comportamento tolerante das plantas foi observado quando os grãos apresentaram altos teores de potássio e fósforo e baixo nível de nitrogênio.

### 3.5 Chuva na colheita

Quando o grão de aveia-branca é destinado à indústria de alimentos humanos, não deve receber chuva após a maturação, evitando assim a coloração escura do grão, o que lhe conferiria aspecto indesejável para a fabricação de flocos ou farinhas. O excesso de chuva, nesta época, também reduz o potencial de rendimento, causado pela menor insolação, reduzindo, assim, o peso do hectolitro dos grãos (Shands & Chapman, 1961).

### 3.6 Outros efeitos adversos

A aveia é uma planta de estação fria, que se adapta em diferentes regiões de climas temperados ou subtropicais frios, porém, golpes de calor na floração, produzidos por temperaturas acima de 32°C, provocam esterilidade e aceleram a maturação dos grãos, diminuindo-lhes o enchimento (Sorrels & Simmons, 1992). Em regiões com altos valores de temperatura e de umidade relativa, a cultura estará sujeita a ataques severos de ferrugem da folha.



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Certamente, não se pode considerar apenas um fator na busca de novas cultivares com expressão de potenciais mais elevados de rendimento, mas sim, um conjunto de caracteres genéticos, morfofisiológicos e bioquímicos, para cada situação de manejo e de ambiente. Estas características devem propiciar máxima capacidade de interceptação da radiação solar, eficiente conversão da energia luminosa em energia química, utilização adequada da energia química na síntese de compostos orgânicos e, finalmente, o direcionamento desses compostos para os órgãos da planta de interesse econômico (Almeida et al., 1998).

Com certeza, os avanços da biologia molecular poderão, no futuro, contribuir, efetivamente, no delineamento de modelos de ideotipo de planta, capazes de proporcionar aumentos do rendimento potencial da cultura, em diferentes ambientes (Donald, 1968).

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, G.R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)**. FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 45, Roma, 326p. 1998.
- ALMEIDA, M.L.; MUNDSTOCK, C.M.; SANGOI, L. Conceito de ideotipo e seu uso no aumento do rendimento potencial de cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 325-332, 1998.
- BAUM, B.R. **Oats: wild and cultivated**. Ottawa: Printing and Publishing Supplies and Services., monograph, v.14, 1977. p.2.
- BELLIDO, L.L. Morfologia, fisiologia y ecologia de los cereales. In: **Cultivos herbáceos – cereales**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1991. p. 69-125.
- BONNETT, O.T. **The oat plant: Its histology and development**. Illinois Agr. Exp. Sta., 1961. 112p. (Bull. 672).
- BROUWER, J.B. Crop physiological approaches to increased productivity in oats. In: INTERNATIONAL OAT CONFERENCE, 2. Aberystwith, University College of Wales/Welsh Plant Breeding Station, 1985. **Proceedings**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. p. 149-59.
- COFFMAN, F.A. **Oat history, identification and classification**. [Washington, DC: U.S.D.A.], 1977. (Technical bulletin, n. 1516).
- COFFMAN, F.A.; FREY, K.J. Influence of climate and physiologic factors on growth in oats. In: COFFMAN, F.A. (ed.) **Oats and oat improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1961, p. 420-64.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Aveia série histórica da Conab**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/AveiaSerieHist.xls>>. Acesso em: 29 mar. 2009.
- CUNHA, G.R.; SCHEEREN, P.L.; SÓ E SILVA, M. **Granizo e cereais de inverno no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 24 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 33)
- DONALD, C.M. The breeding of crop ideotype. **Euphytica**, Wageningen, v. 27, p. 385-403, 1968.
- EVANS, L.T.; WARDLAW, I.F. Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. **Advances of Agronomy**, Madison, n.28, p. 301-359, 1976.
- FLOSS, E.L. O papel da aveia como componente de uma agricultura sustentável. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, XXI. Lages, UDESC, 2001. **Resultados experimentais**. Lages: UDESC, 2001. p. 11-22.
- FLOSS, E.L. Pesquisa de aveia – do acadêmico ao desenvolvimento. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 22, Passo Fundo, UPF, 2002. **Resultados experimentais**. Passo Fundo: Editora UPF, 2002. p.27-38.
- GOOD, N.E.; BELL, D.H. Photosynthesis, plant productivity, and crop yield. In: **The biology of crop productivity**. New York: Academic Press, Inc., 1980. P. 3-51.
- HELLEVEL, K.B.; STUTHMANN, D.D.; MARKHART, H. A.; ERWIN, J.E. Day and night temperature effects during grain filling in oat. **Crop Science**, Madison, v.36, p. 624-628, 1996.
- KINBACKER, E.J. Effect of seed source on the cold resistance of pre-emerged Dubbois winter oat seedlings. **Crop Science**, Madison, v. 2, p. 91-93, 1962..
- KLINK, H.R.; SIM, S.L. The influence of source of photosynthetic and sink size on grains yield in oats ( *Avena sativa* L. ). **Annals of Botany** , v. 40 , p. 785-93, 1968.
- MAHON, J.D. Limitations to the use of physiological variability in plant breeding. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, n. 63, p. 11-21,1983.
- MAJOR, D.J. Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. **Canadian Journal of Plant science, Ottawa**, n.60, p.777-784, 1980.
- MARSHAL, H.G. Effect of seed source and seedling age on the freezing resistance of winter oats. **Crop Science**, Madison, v.9, p. 202-205, 1969.
- MATZ, S.A. **Oats**. In: Cereal Science. Westport: Av. Publishing, 1969. p.78-96.
- PETERSON, D.M. Physiology and development of the oat plant. In: MARSHALL, H.E.; SORRELS, M.E. (eds.) **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p.77-115.
- RICHARDSON, S.G. Factors influencing the development of primary dormancy in wild oat *Avena fatua* seeds. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 59, p. 777-784, 1979.
- ROSS, W.M. Association of morphological characters and earliness in oats. **Agronomy Journal**, Madison, n.47, p. 453-7, 1955.
- SHANDS, H.L.; CHAPMAN, W.H. Culture and production of oats in North America. In: COFFMAN F.A. ed. **Oats and oat improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1961. p. 465-529.
- SHANDS, H.L.; CISAR, G.L. Avena. In: Halevy, A.H. **CRC Handbook of Flowering**. Florida: CRC Press, Inc., 1988. p.523-35.
- SORRELS, M.E.; SIMMONS, S.R. Influence of environment on the development and adaptation of oat. In: MARSHALL, H.G.; SORRELS, M.E. (Ed.) **Oat science and technology**. Madison: Americana Society of Agronomy, 1992. p.115-163.
- STOSKOPF, N.C. **Cereal grain crops**. Reston: Printice-Hall Company, 1985. p.22-45.
- STREET, H.E.; ÖPIK, H. **Fisiologia das angiospermas: crescimento e desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 1974. 332 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª. Edição. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- ZADOKS, J.C. CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Amsterdam, n.14, p.415-22, 1974.



# BATATA

Foto: Pat Herman



## 1. INTRODUÇÃO

A batata é uma planta dicotiledônea, originária dos Andes, na América do Sul. Apresenta uma grande diversidade genética, em espécies silvestres e cultivadas, todas possuindo o mesmo número básico de cromossomos ( $n=12$ ) e pertencendo ao gênero *Solanum*. Dentre as espécies cultivadas, a mais importante é a *S. tuberosum* L. ( $2n=48$ ), que tem duas subespécies: a *Solanum tuberosum* L. subsp. *andigena* (Juz. & Buk.) Hawkes, adaptada para dias curtos, cujo cultivo está restrito à região de origem da batata; e a *Solanum tuberosum* L. subsp. *tuberosum*, com adaptação para dias longos, sendo cultivada nas demais regiões produtoras, inclusive em climas subtropicais e tropicais de altitude (Bradshaw & Mackay, 1994).

A batata foi introduzida na Europa por volta de 1570, adaptada para o cultivo em dias longos, e disseminada para o resto do mundo. Num período de aproximadamente 300 anos, a batata passou de uma cultura restrita a algumas regiões da América do Sul para uma das mais importantes espécies cultivadas. Esse processo de adaptação e disseminação da batata, para o cultivo em diferentes condições ambientais, promoveu uma drástica redução da variabilidade genética. A produção mundial de batata depende quase, exclusivamente, da subsp. *tuberosum*, que representa mais de 97% da produção mundial (FAO, 2008). A batata é o quarto cultivo em importância no mundo, depois do trigo, arroz e milho, com uma produção de 315,1 milhões de t, em 2006 (FAO, 2008).

No Brasil, a batata é a hortaliça de maior importância econômica, com uma área cultivada de 142,3 mil ha, produção de 3,38 milhões de t e produtividade de 23,7 t ha<sup>-1</sup>, em 2007 (IBGE 2008). Os principais Estados produtores são Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, responsáveis por mais de 87% da produção nacional. Em 2007 (IBGE, 2008), a Região Sudeste representou 51% e, a Sul, 41% da produção nacional.

A batata pode ser plantada em todos os meses do ano, considerando as diferentes regiões produtoras do Brasil. A definição da época de plantio é feita, geralmente, com base no risco de ocorrência de geadas, nas médias das temperaturas mínimas e máximas e nas probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica, durante todo o ciclo de desenvolvimento e, de excesso hídrico, a partir do início da senescência. Portanto, dependendo da região produtora, os elementos climáticos limitantes ao cultivo da batata são distintos, o que se reflete nos índices utilizados para o zoneamento agroclimático de cada Estado e na época de plantio recomendada.

Nas diversas regiões tropicais de cultivo, no Brasil, são recomendadas as épocas de plantio comumente conhecidas como safra das secas, de janeiro a março; de inverno, de abril a julho; e das águas, de agosto a dezembro. Nas regiões de clima subtropical e de altitudes inferiores a 600 m, são recomendadas as épocas de plantio de outono, de janeiro a março, e de primavera, de julho a setembro. Já em regiões com altitudes superiores a 600 m, o plantio é recomendado nos meses de outubro a dezembro. A safra das águas é a mais importante, respondendo por 52% do total da batata produzida, colhida nos meses de dezembro a março, ou seja, mais da metade da batata produzida no Brasil é ofertada, no mercado, em apenas quatro meses. A safra das secas é responsável por 30% da produção, sendo colhida nos meses de abril a julho e, a safra de inverno, por 18%, sendo colhida de agosto a novembro. Os Estados do Paraná e Minas Gerais são os mais importantes produtores de batatas nas safras das águas e das secas e, os de São Paulo e Minas Gerais, na safra de inverno, época em que não há produção de batata na Região Sul (IBGE, 2008).

1- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Universidade Federal de Santa Maria, Pesquisador CNPq, Grupo de Pesquisa em Genética e Melhoramento de Batata. Endereço digital: <http://coralx.ufsm.br/batata>

2- Campus Universitário, CEP 97105-900, Camobi, Santa Maria, RS. E-mail: [dilsonb@smail.ufsm.br](mailto:dilsonb@smail.ufsm.br) (p/ correspondência)

Para a produção comercial, a batata é propagada, vegetativamente, através dos tubérculos. Os tubérculos são caules subterrâneos modificados, que servem também como órgão de reserva, principalmente de amido. Durante o crescimento e, por um período após a colheita, os tubérculos se apresentam dormentes, condição que minimiza a atividade metabólica e possibilita a comercialização e o consumo dos mesmos. Após o período de dormência, as gemas vegetativas presentes nos tubérculos se diferenciam e, se utilizados como batata-semente, formam novas plantas. O período de dormência dos tubérculos e o crescimento das plantas variam com a cultivar e com as condições ambientais durante o cultivo.

Cada tubérculo pode formar uma ou várias hastes, dependendo do tamanho e da idade fisiológica do mesmo e das condições ambientais de cultivo. Comumente, são consideradas hastes principais aquelas que se originam diretamente do tubérculo, sendo comum a ramificação da haste principal, inclusive abaixo do nível do solo. Cada haste principal desenvolve, de forma independente, o sistema radicular e os estolões. O estolão se forma a partir de gemas vegetativas localizadas na parte subterrânea do caule, formando, o tubérculo, pelo intumescimento da extremidade. A indução da tuberização depende de fatores genéticos e do ambiente, principalmente do fotoperíodo. A tuberização promove a alteração da partição de assimilados da planta, fazendo com que os tubérculos se tornem o dreno principal e, com o crescimento, promovem a senescência da parte aérea.

O ciclo do desenvolvimento das plantas de batata é muito dependente da cultivar. Em geral, as cultivares de batata são classificadas segundo o número de dias necessários para atingir a maturação, ou seja, grupos precoce (menos de 90 dias), médio (entre 90 e 110 dias) e tardio (mais de 110 dias). O potencial produtivo das cultivares está muito associado ao grupo de maturação. Assim, as cultivares tardias dispõem de maior período de tempo para a formação da área foliar e para a produção de assimilados necessários ao crescimento dos tubérculos. As cultivares precoces são, normalmente, utilizadas nas regiões produtoras, onde a batata é cultivada em duas safras anuais, devido ao curto período de tempo necessário para completar o ciclo de desenvolvimento.

Em condições de pleno suprimento hídrico, a temperatura do ar governa a taxa de desenvolvimento, mas, quaisquer estresses, como doenças, pragas, deficiência de nutrientes ou de água, danos por geada ou granizo, afetam o rendimento final (Pereira & Daniels, 2003). Condições de fotoperíodo e temperaturas decrescentes, no outono, pouco afetam o desenvolvimento das plantas de batata, mas as menores disponibilidades e menor eficiência de utilização da radiação solar afetam tanto a produtividade quanto o tamanho dos tubérculos produzidos (Bisognin et al., 2008a).

A utilização de cultivares precoces, em condições ambientais que interrompam ou acelerem o ciclo de desenvolvimento das plantas, é um importante fator limitante da produtividade da batata. Além disso, em regiões de clima subtropical, a intensidade de radiação solar, a temperatura do ar e o fotoperíodo diminuem durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, no outono e, aumentam, na primavera. Além da menor disponibilidade de radiação solar, as plantas de batata também apresentam uma menor eficiência de utilização, devido à menor área foliar para a interceptação dessa radiação (Bisognin et al., 2008a), o que também limita a produtividade. Portanto, estratégias de manejo, mais adequadas ao outono, devem ser desenvolvidas para coincidir o enchimento dos tubérculos com as disponibilidades de temperatura e radiação solar.

## Fenologia

A fenologia é o ramo da Ecologia que estuda as fases de desenvolvimento e suas relações com o clima. Portanto, a fenologia se refere aos estádios e às fases do desenvolvimento de uma determinada espécie vegetal. Estádio é o momento, expresso por uma data, de ocorrência de um evento associado ao desenvolvimento de uma planta, e fase corresponde à duração entre dois estádios sucessivos (Streck et al., 2007). O desenvolvimento de uma planta refere-se aos processos que incluem, desde a diferenciação de células, a iniciação (organogênese) e a formação (morfogênese) de órgãos, até a senescência. A descrição dos estádios e das fases de desenvolvimento das culturas é reunida nas

chamadas escalas fenológicas ou escalas de desenvolvimento.

Existem várias escalas fenológicas para a cultura da batata, como por exemplo, a escala de Bätz et al. (1980) e a de BBCH (Meier, 2001). Estas escalas são bem detalhadas e descrevem os estádios, desde a dormência até a colheita dos tubérculos, o que nem sempre é necessário. Para as práticas de manejo, o ciclo de desenvolvimento da plantas de batata pode ser dividido em três fases: a fase vegetativa, que vai da emergência ao início da tuberização (E - IT), a fase da tuberização, que se estende desde o início da tuberização ao início da senescência (IT - IS) e a fase da senescência, que abrange o subperíodo do início da senescência até a morte da planta (IS - PM) (Streck et al., 2007). É também considerada a fase da brotação, compreendida entre a dormência dos tubérculos e a formação das brotações vigorosas. As quatro fases de desenvolvimento da batata foram divididas em estádios, com as respectivas descrições, com base nas escalas fenológicas de Bätz et al. (1980) e de BBCH (Meier, 2001) (Tabela 1). Nesta escala fenológica, foi dada ênfase aos estádios facilmente identificáveis em campo, restringindo-se às fases em que os processos fisiológicos e a ação dos elementos meteorológicos são similares (Figura 1).

A dormência compreende um período em que os tubérculos apresentam uma atividade metabólica mínima e não brotam, mesmo em condições ideais para o crescimento. A dormência é uma condição endógena e pode se estender de duas semanas a vários meses após a morte da planta (PM). Apesar de a dormência ter um componente genético característico de uma cultivar, o crescimento e o armazenamento dos tubérculos, em temperaturas mais baixas, prolongam o período de dormência (Bisognin et al., 2008b). Após a dormência, inicia-se a brotação das gemas apicais e, posteriormente, ocorre a brotação e o crescimento vigoroso dos brotos laterais, momento ideal para o plantio dos tubérculos, por proporcionar a emergência de várias hastes principais. Com a plena brotação, ocorre a diferenciação dos primórdios radiculares. O plantio dos tubérculos promove a formação das raízes e o rápido crescimento dos brotos, que emergem do solo e formam as hastes principais. A emergência das hastes, tornando-se visíveis acima do solo em mais de 50% das covas, caracteriza o início da fase vegetativa.

A emergência das hastes principais e o início da atividade fotossintética promovem o estabelecimento do sistema radicular e o aumento da área foliar. A temperatura, a disponibilidade de radiação solar e o fotoperíodo são os principais elementos meteorológicos que governam a taxa de crescimento e desenvolvimento das plantas, durante a fase vegetativa. A temperatura e o fotoperíodo afetam a soma térmica acumulada entre a emergência e o início da tuberização, sendo que, a soma térmica necessária para o aparecimento de folhas varia com a cultivar (Bisognin et al., 2008a). Portanto, a duração desta fase depende da cultivar, do local e da época de plantio, podendo apresentar variações entre 10 e 40 dias (Streck et al., 2007). A deficiência hídrica moderada pode acelerar o desenvolvimento nesta fase, devido ao aumento da temperatura da folha, enquanto a deficiência hídrica severa pode retardar o desenvolvimento e até causar a morte das plantas.

**Tabela 1. Escala fenológica da batata, com a descrição dos respectivos estádios de desenvolvimento.**

Fases	Estádios	Descrição
Brotação	D	Dormência: tubérculos sem nenhum broto visível
	IB	Início da brotação: broto apical com, pelo menos, 2 mm de comprimento
	PB	Plena brotação: brotos laterais com, pelo menos, 2 mm de comprimento
	IR	Início da formação das raízes: raízes visíveis

Fases	Estádios	Descrição
Vegetativa	E	Emergência: surgimento de uma ou mais hastes acima do solo, em 50% das covas
	V <sub>1</sub>	Primeira folha da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1 cm
	V <sub>2</sub>	Segunda folha da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1 cm
	V <sub>n</sub>	Folha “n” da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1 cm
Tuberização	IT	Início da tuberização: primeiro tubérculo com, pelo menos, 1 cm de diâmetro
	V <sub>F</sub>	Última folha da haste principal, com comprimento do folíolo apical maior que 1 cm
	T <sub>90</sub>	Tubérculos atingem 90% do tamanho final
Senescência	IS	Início da senescência: folhas iniciam o processo de amarelecimento
	S	Senescência: 50% das folhas amarelas
	FS	Fim da senescência: 100% das folhas amarelas
	M	Maturação: folhas e hastes secas em 50% das hastes principais
	PM	Planta morta: 100% das folhas e hastes secas

A diferenciação e o crescimento dos tubérculos na extremidade dos estolões marcam o início da fase da tuberização. O início da tuberização é, assim, um estágio importante do desenvolvimento, pois é o momento em que a partição de assimilados da planta se modifica e, práticas de manejo, como a adubação nitrogenada de cobertura e a amontoa devem ser realizadas (Lopes & Buso, 1997). Durante a fase de tuberização, os açúcares produzidos pela fotossíntese são convertidos em amido e armazenados nos tubérculos. O número de folhas ( $V_n$ ), no início de tuberização, varia com a cultivar e com o fotoperíodo, podendo situar-se entre 10 e 25 folhas ( $V_{10}$  e  $V_{25}$ ). Após o início da tuberização, aparecem de 1 a 10 folhas na haste principal, definindo o número final de folhas ( $V_F$ ) (Streck et al., 2007). A duração da fase de tuberização pode variar de 30 a 50 dias, dependendo da cultivar e época de plantio. O aumento da duração desta fase é negativamente correlacionado com a temperatura do ar e, positivamente correlacionado com o rendimento final dos tubérculos (Streck et al., 2007; Bisognin et al., 2008a).

Durante a fase da senescência, ocorre uma redução gradual da fotossíntese e um amarelecimento de folhas e hastes, até a secagem completa da parte aérea (PM). Os assimilados produzidos e as reservas da parte aérea são direcionados para os tubérculos. A duração desta fase depende, principalmente, da temperatura, mas a baixa radiação solar incidente, comum durante o cultivo do outono em regiões subtropicais, pode acelerar a senescência e antecipar a colheita. A fase de senescência é pouco variável entre cultivares e épocas de plantio, podendo variar entre 15 e 25 dias (Streck et al., 2007). É no estágio da maturação (M) que os tubérculos atingem o tamanho final e o máximo teor de matéria seca. Somente após a morte da parte aérea (PM) é que ocorre a formação da casca e a utilização dos açúcares redutores disponíveis, momento em que se completa a maturação dos tubérculos.

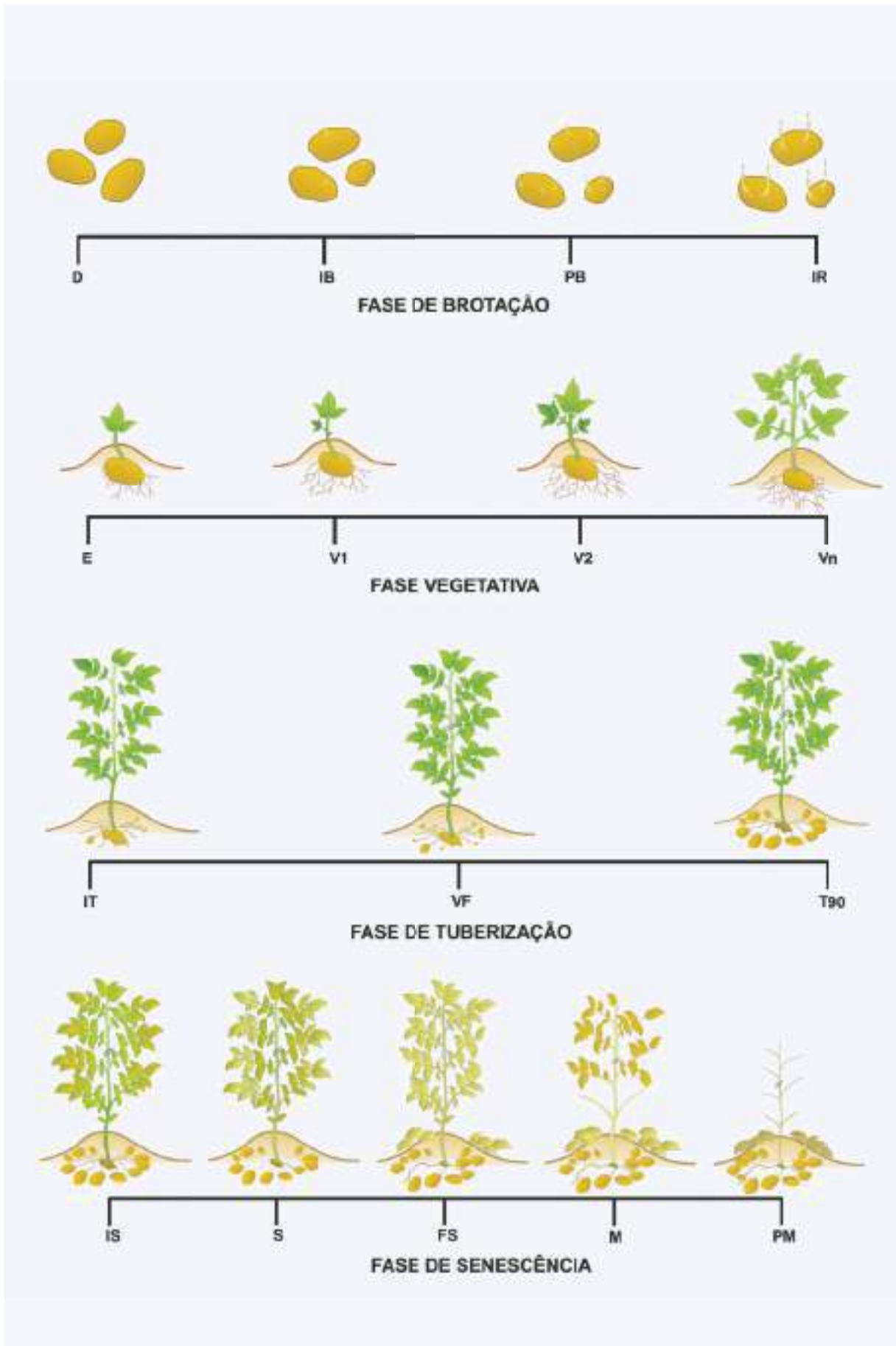


Figura 1. Ciclo das plantas de batata, com as respectivas fases e estádios do desenvolvimento. Para a descrição dos estádios, vide tabela 1.



## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

As plantas de batata são muito sensíveis às modificações do ambiente de cultivo, ocorrendo uma grande interação com o ambiente. Por ser uma espécie de propagação vegetativa, as cultivares de batata apresentam uma alta uniformidade genética, necessitando de condições ambientais favoráveis para expressar o potencial produtivo. Dentre os fatores ambientais mais importantes estão: a disponibilidade hídrica e a temperatura adequada para o crescimento e o desenvolvimento das plantas; a temperatura ideal para o armazenamento dos tubérculos destinados ao processamento industrial ou ao uso como batata-semente; a disponibilidade de radiação solar para a produção dos assimilados necessários para sustentar o crescimento da parte aérea e dos tubérculos; e o fotoperíodo crítico para o início da tuberização. A seguir são discutidos os principais efeitos destes e de outros fatores para a produtividade e a qualidade dos tubérculos de batata.

### 2.1 Disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica é dependente dos fluxos de água envolvidos, sendo afetada principalmente pela precipitação, pela evapotranspiração da cultura e pelas propriedades físicas do solo, que estão relacionadas ao armazenamento de água, até a profundidade alcançada pelo sistema radicular. Por isso, a escolha do solo, para o plantio da batata, deve considerar a textura e a capacidade de drenagem, além de evitar áreas anteriormente cultivadas com batata ou com outras solanáceas. A textura não deve ser extrema. Os solos muito arenosos, mais facilmente trabalháveis, podem proporcionar deficiências nutricionais às plantas e exigir maior controle de umidade, pois apresentam baixa capacidade de armazenar água. Os solos argilosos são mais difíceis de serem trabalhados, impedindo o livre crescimento dos tubérculos e apresentando drenagem lenta, o que dificulta a aeração.

Devido à sensibilidade das plantas de batata ao excesso hídrico, a escolha de solos bem drenados é fundamental para evitar a podridão dos tubérculos, causada por patógenos de solo. Nesse sentido, a presença de camada compactada agrava o problema e deve ser eliminada antes do plantio. O impedimento químico está associado à acidez excessiva ( $\text{pH} < 5,0$ ), que pode ser facilmente corrigida. A implantação de lavouras em terrenos de baixada também deve ser evitada. Estas áreas apresentam grande possibilidade de contaminação por inóculos de patógenos, transportados pela água de enxurradas das áreas à montante. Além disso, tais áreas apresentam maior umidade no solo, maior tempo de molhamento por orvalho e probabilidade de ocorrência de geadas intensas, devido ao maior acúmulo de ar frio nas áreas mais baixas.

A profundidade do sistema radicular aumenta com o desenvolvimento das plantas, até o final da diferenciação de novos tubérculos, e depende da textura, da estrutura, da macroporosidade do solo e da disponibilidade de água. Em geral, a maior parte do sistema radicular das plantas de batata, das cultivares de ciclo precoce e médio, utilizadas no Brasil, concentra-se no volume de solo do camalhão e se estende até a profundidade de 25 cm abaixo da base do mesmo. Em condições adequadas de suprimento hídrico e de nutrientes, a profundidade da maior parte do sistema radicular encontra-se até a profundidade de 10 a 20 cm abaixo da base do camalhão. Profundidades do sistema radicular entre 30 e 45 cm, abaixo da base do camalhão, podem ser encontradas em solos arenosos profundos, bem drenados, com fertilidade e pH corrigidos, e com predominância de deficiência hídrica leve, em níveis que não limitam o crescimento das plantas.

O excesso hídrico afeta as plantas de batata, praticamente, durante todo o ciclo de desenvolvimento. Do plantio à emergência, resulta no atraso e na redução do número de hastes emergidas; na fase da tuberização, dificulta a respiração e aumenta a podridão dos tubérculos; e, durante a fase da senescência e na colheita, afeta a qualidade dos tubérculos e aumenta as perdas pós-colheita.

A deficiência hídrica assume maior importância entre os estádios de cinco folhas ( $V_5$ ) e o início da senescência (IS), por limitar o crescimento e o aumento da área foliar e, em consequência, diminuir a eficiência de uso da radiação solar. A fase mais crítica ocorre entre o início da tuberização (IT) e o início da senescência (IS) das folhas (Bezerra et al., 1998), sendo mais drástico durante o enchimento

dos tubérculos (Levy, 1985). O estresse por deficiência hídrica diminui a taxa fotossintética, o número e o tamanho dos tubérculos formados, o que resulta em menor produtividade e má qualidade dos tubérculos produzidos, principalmente se destinados ao processamento industrial. Considera-se como suprimento hídrico ideal a manutenção da umidade do solo entre os níveis de capacidade de campo e 80% da capacidade de armazenamento de água disponível no solo, ou seja, quando o valor crítico da depleção da fração de água ( $p$ ) for de, aproximadamente, 0,80.

O valor de  $p$  depende da demanda hídrica da atmosfera. Para evapotranspiração média da cultura da batata de  $2,5 \text{ mm dia}^{-1}$ , o valor de  $p$  foi estimado em 0,45 (45%) em solo laterítico franco-arenoso, em região subtropical subúmida (Kashyap & Panda, 2003). Isto permite inferir que, quando o estresse de água no solo é imposto, durante estádios não críticos de crescimento e desenvolvimento, a irrigação deve ser efetuada antes, ou até o momento em que a retirada de água atinge 45% da capacidade de armazenamento disponível, para atingir a máxima eficiência de uso da água. Nestas condições de cultivo, a quantidade de água evapotranspirada é uma função linear dos componentes do rendimento, como a produtividade, a matéria seca dos tubérculos, a matéria seca da planta como um todo e o índice de área foliar (IAF) (Kashyap & Panda, 2003). Para quaisquer condições de demanda, considera-se que as plantas de batata estão expostas a estresse intenso quando os potenciais matriciais de água no solo alcançam valores entre -0,6 e -0,8 MPa (Lynch & Tai, 1989; Adams & Stevenson, 1990).

Os valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), para a batata, são muito variados, havendo indicações de 0,15 a 1,0, entre o plantio e a emergência, e até 0,8 a 2,4, no momento de IAF máximo (Rebour & Deloye, 1971; Doorembos & Kassan, 1979; Encarnação, 1987; Franke & König, 1994; Pereira et al., 1995a e 1995b; Allen et al., 1998; Kashyap & Panda, 2001). Os valores de  $K_c$  dependem do método de determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>m</sub>) e de referência (ET<sub>o</sub>), do tipo de solo, da frequência de irrigação ou da chuva, da região climática e da época de cultivo. Na maioria das determinações do  $K_c$ , principalmente até a década de 90, foi utilizado o método do tanque Classe A para estimar a ET<sub>o</sub> ( $K_{c_{CA}}$ ), sendo este valor menor que os obtidos a partir da ET<sub>o</sub> estimada pelos métodos de Penman ( $K_{c_p}$ ) e, ou, Penman-Monteith ( $K_{c_{PM}}$ ). As maiores diferenças, para os  $K_c$ , entre estes métodos são da ordem de 40 a 45%, conforme dados de ET<sub>m</sub>, ET<sub>o</sub>, IAF e  $K_c$  apresentados por Pereira et al. (1995a e 1995b), para as condições de cultivo irrigado na época de inverno, em Botucatu-SP. Neste caso, aos 30 dias após a emergência (DAE) (IAF  $\square$  0,32), os valores de  $K_{c_{CA}}$  e de  $K_{c_{PM}}$  foram, respectivamente, da ordem de 0,6 e 1,1; aos 55 DAE (IAF  $\square$  2,1), da ordem de 1,1 e 2,0; e, aos 65-70 DAE (IAF máximo  $\square$  2,3), da ordem de 1,3 e 2,4.

O tempo, após o final da irrigação ou da chuva, também afeta o valor do  $K_c$  da batata, principalmente enquanto parte do solo permanece exposto. Mesmo durante a tuberização, quando as plantas de batata atingem IAF máximo, o valor máximo do  $K_c$ , de 1,41, foi obtido no primeiro dia após irrigações a intervalos de quatro dias e, de 1,22, no terceiro e quarto dias. Para toda a fase de tuberização, o valor médio de  $K_c$ , igual a 1,27, foi máximo e, relativamente estável (Kashyap & Panda, 2001).

Considerando a grande variação nos valores de  $K_c$ , as estimativas devem ter, como base, as condições mais frequentes de cultivo da batata. Para a fase do plantio à emergência, o valor do  $K_c$  dependerá principalmente da umidade da camada superficial do solo. Dessa forma, no primeiro período diurno, imediatamente após a irrigação ou chuva superior a 9 mm, utiliza-se  $K_c$  igual a 0,9, para solos argilosos e francos, igual a 0,85, para solos arenosos, e, no segundo dia, utilizam-se, respectivamente, os valores de 0,70 e 0,60. Subsequentemente, reduz-se o valor do  $K_c$  em 0,15, para cada dia adicional até a próxima irrigação ou a chuva e, ou, até alcançar o valor mínimo de 0,30. Estimativas de evaporação do solo, na fase do plantio à emergência, também podem ser obtidas, como especificado no Anexo 7 do trabalho de Allen et al. (1998).

A partir da emergência das plantas, o valor do  $K_c$  é crescente. Entre a emergência e o estádio de seis folhas ( $E - V_6$ ), o valor do  $K_c$  pode ser estimado com os mesmos critérios da fase do plantio à emergência, com valor mínimo de 0,40. Entre o estádio  $V_6$  até 10 dias após o início da tuberização ( $V_6 - IT+10$  dias), o valor do  $K_c$  cresce rapidamente, passando a máximo na fase seguinte ( $IT+10$  dias – IS), quando ocorre IAF máximo. Assim, o valor diário do  $K_c$  nesta fase ( $V_6 - IT+10$  dias) deve ser interpolado entre os valores de  $K_c$  da fase anterior ( $E - V_6$ ) e da fase posterior ( $IT+10$  dias – IS), utilizando os

valores específicos para cada condição de umidade na camada superficial do solo, que varia com o tempo após a irrigação e, ou, a chuva e o tipo de solo. Na fase de ocorrência do IAF máximo até o início da senescência (IT+10 dias – IS), o valor do Kc pode ser considerado constante, sendo de 1,4 para cultivos com IAF máximo igual ou maior que 3,5 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. Para cultivos com IAF máximo menor que 3,0 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, é necessário substituir o Kc máximo pelo fator (FKc), obtido pela expressão matemática  $FKc = 0,2857 IAF + 0,35$ .

Na fase da senescência (IS - PM), o valor de Kc decresce rapidamente, alcançando o valor de 0,5 a 0,6, na maturação (M). A redução do Kc está relacionada à rapidez com que a planta perde área foliar sadia, por senescência ou por injúrias causadas por patógenos e predadores. Inicialmente, o decréscimo é da ordem de 5% ao dia e, a partir do sexto dia após o IS, a diminuição diária do Kc é da ordem de 7 a 12 %, dependendo do estado fitossanitário do dossel, da soma térmica diária e da disponibilidade hídrica no solo.

Considerando os valores do Kc apresentados na literatura, para as diferentes condições de cultivo, e o método de Penman-Monteith (ou Penman) para estimar a ETo, é possível estimar o valor do Kc para cultivos de batata com ciclo de, aproximadamente, 100 dias. O valor do Kc pode ser obtido em função do número de dias após a emergência (DAE) das plantas, com uma precisão aceitável, para fins operacionais, através da equação:

$$Kc = 6,0091754 \cdot 10^{-8} DAE^4 - 1,568928 \cdot 10^{-5} DAE^3 + 8,063762 \cdot 10^{-4} DAE^2 + 0,0149496 DAE + 0,35$$

Esta função é válida para dosséis que atingem IAF máximo, igual ou superior a 3,5 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, em plantios irrigados durante a época da seca. Tal função pode ser também utilizada para cultivos com IAF máximo menor que 3,5 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, desde que corrigido para um fator relativo à fração de redução do IAF de 3,5, ou seja:

$$Kc = 0,2857 IAF (6,0091754 \cdot 10^{-8} DAE^4 - 1,568928 \cdot 10^{-5} DAE^3 + 8,063762 \cdot 10^{-4} DAE^2 + 0,01495 DAE) + 0,35$$

Em condições de reposição de água por irrigação somente quando o solo apresentar potencial matricial ( $\Psi_m$ ) de aproximadamente -80 kPa, é possível utilizar um valor de Kc corrigido (Kcc), calculado por:

$$Kcc = 0,2857 IAF (1,86175 \cdot 10^{-8} DAE^4 - 7,205256 \cdot 10^{-6} DAE^3 + 3,6228 \cdot 10^{-4} DAE^2 + 0,013767 DAE) + 0,30$$

No entanto, este é um procedimento de irrigação adotado apenas quando o manancial de água disponível é insuficiente para atender toda a demanda da ETm, no período mais crítico da cultura.

O fator de resposta ao déficit hídrico (Ky), das plantas de batata, é da ordem de 1,1 (Doorembos & Kassan, 1979) a 1,51 (Bezerra et al., 1999) para todo o ciclo, porém, a maioria dos resultados encontrados indica valores entre 1,1 e 1,3. O valor de Ky varia com o ciclo de desenvolvimento. No início da fase vegetativa, já atinge valores entre 0,40 e 0,57 (Doorembos & Kassan, 1979; Larsen, 1982; Bezerra et al., 1999), sendo um dos valores mais altos, comparativamente a outras espécies cultivadas. No início da tuberização, quando aumenta a sensibilidade das plantas ao déficit hídrico, o valor do Ky situa-se entre 0,8 (Doorembos & Kassan, 1979) e 1,5 (Bezerra et al., 1999), enquanto, ao longo do enchimento dos tubérculos, decresce para 0,7 a 0,9. É possível que o valor de 1,5, durante a fase de tuberização, seja muito alto quando comparado com o valor máximo para o ciclo e com o valor máximo de 1,41 a 1,47, encontrado na literatura. Durante a fase da senescência, os valores de Ky diminuem, rapidamente, de 0,4 para zero, apresentando um valor médio de 0,2.

Nas diferentes regiões produtoras de batata, no Brasil, onde predominam as condições de clima subtropical (Cwa e Cfa, conforme classificação de Köppen), os valores de Ky são maiores que os apresentados por Doorembos & Kassan (1979). Provavelmente, essas diferenças estão associadas ao maior valor da ETm em clima subtropical, em relação à ETm em clima temperado, uma vez que o nível de estresse, para as plantas, para uma dada relação ETreal/ETm, tende a ser menor quanto menor for a ETm, o que não é considerado no fator Ky.

A primeira manifestação ecofisiológica do efeito do estresse hídrico é a diminuição do tamanho das folhas (Jefferies & MacKerron, 1987), com conseqüente redução do IAF e menor interceptação da radiação solar, resultando em menor acúmulo de matéria seca nos tubérculos (Jefferies & MacKerron, 1993). Quando o estresse hídrico inicia-se na fase vegetativa, ocorre uma redução do IAF, que contribui para diminuir a perda de água, tendendo a atenuar a redução da produção, em áreas sujeitas ao estresse hídrico, durante a fase da tuberização. Deficiência hídrica gradual, mas que não atinja níveis

drásticos, induz ao aprofundamento gradativo do sistema radicular. Essas alterações fisiológicas das plantas podem explicar a razão pela qual a redução da produção nem sempre corresponde ao efeito multiplicativo dos fatores  $K_y$  parciais de cada fase. Apesar disso, a relação entre a produtividade de tubérculos ( $P_T$ , t ha<sup>-1</sup>) e a evapotranspiração da cultura (ETc, mm) da batata, durante o ciclo, pode ser descrita pela função linear  $P_T = 0,15 ETc - 16,57$ , com  $R^2 = 0,88$  (Kashyap & Panda, 2003). Esta relação implica que a produtividade tende a zero quando ocorre decréscimo da ETc e quando esta variável (ETc) tende a alcançar valores menores que 110 mm durante o ciclo (Kashyap & Panda, 2003).

## 2.2 Temperatura

O efeito da temperatura no crescimento dos brotos e na emergência das plantas é similar. Os processos biofísicos e bioquímicos do metabolismo aumentam com o aumento da temperatura, alcançando um ótimo, para a fotossíntese bruta, em torno de 25°C. A fotossíntese e a transpiração atingem a condição de equilíbrio mais favorável ao crescimento, entre 18 e 25°C. Sob condições de temperaturas mais elevadas, decresce a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e aumenta a resistência estomática, principalmente quando as plantas estiverem sob estresse hídrico. Sob temperaturas acima de 24°C, a fotossíntese líquida decresce devido ao aumento da respiração, embora a fotossíntese bruta se mantenha alta até temperaturas entre 27 e 28°C. No entanto, para o crescimento, a temperatura ótima está entre 17 e 20°C, sendo esperada uma taxa de decréscimo na fotossíntese líquida de 25%, para cada acréscimo de 5°C na temperatura média do ar (Vayda, 1994).

A temperatura média ótima, para o início da tuberização, está entre 16 e 18°C, tornando-se, gradativamente, menos favorável à medida que se aproxima dos limites de 6 e 29°C (Demagante & Van der Zaag, 1988; Beukema & Van der Zaag, 1990). Temperaturas altas favorecem o crescimento da parte aérea, em detrimento dos tubérculos (Prange et al., 1990), o que afeta a quantidade e a qualidade da produção, devido ao atraso da tuberização e à manifestação de defeitos fisiológicos e deformações nos tubérculos, como embonecamento, coração oco, rachaduras e necroses (Vayda, 1994; Van Dam et al., 1996; Menezes et al., 1999). Temperaturas altas associadas a déficit hídrico aumentam a percentagem de tubérculos brotados ainda no solo (Levy, 1985). A redução média da produtividade é de 1%, para cada aumento de 1°C da temperatura, entre 15 e 25°C, sendo que, a produtividade dos tubérculos, na temperatura de 30°C, é a metade daquela a 20°C e, ainda menor que a 10°C (Beukema & Van der Zaag, 1990). Temperaturas noturnas são muito importantes para a tuberização e o enchimento dos tubérculos, sendo que, acima de 20°C, inibem a tuberização (Slater, 1968). Portanto, temperaturas mínimas entre 8 e 15°C, associadas à amplitudes térmicas diárias de 10 a 15°C, seriam mais favoráveis ao acúmulo de matéria seca nos tubérculos que temperaturas noturnas mais elevadas, porém associadas a menores amplitudes térmicas (Burton, 1981).

Para a produção dos tubérculos, temperaturas noturnas menores que 17°C e, diurnas, entre 23 e 25°C, são as mais favoráveis. A temperatura mais adequada para o armazenamento e a quebra da dormência e, para a dominância apical dos tubérculos-semente, acha-se entre 2 e 4°C, por minimizar a atividade metabólica e as perdas de matéria fresca, reduzindo a ocorrência de podridões (Cheong & Govinden, 2008; Bisognin et al., 2008b). Entretanto, a temperatura mais adequada para o armazenamento dos tubérculos destinados ao processamento industrial é aquela entre 8 e 10°C, por equilibrar o acúmulo de açúcares redutores, que deterioram a qualidade do produto processado, e por reduzir as perdas de matéria fresca, devido à brotação dos tubérculos (Booth & Shaw, 1990). A manutenção da qualidade dos tubérculos, pós-colheita, depende da dormência, pois o início da brotação desencadeia um processo contínuo e, em conseqüência, leva à perda de matéria fresca dos tubérculos, independentemente das condições de cultivo e da temperatura de armazenamento (Bisognin et al., 2008b).

Plantios tardios de primavera, em condições subtropicais, como em Santa Maria, RS, promovem o crescimento e a emissão contínua de folhas, com uma média de 253 folhas por planta, comparativamente ao plantio de outono, que atinge 50 folhas por planta. Apesar do elevado número de folhas, que são de menor tamanho, o IAF máximo é de apenas 3,6 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>. O crescimento das raízes também é afetado, o que dificulta a absorção de água e de nutrientes, intensificando o estresse hídrico sob condições

de alta ETm. Em condições tropicais, com altas temperaturas, logo após a emergência, as folhas também são mais numerosas e menores, com formação de área foliar mais rápida que em regiões mais frias. Entretanto, a longevidade das folhas pequenas é menor, com hastes mais reduzidas e com a formação de folhagem abaixo do necessário para o bom aproveitamento da radiação solar disponível e, conseqüentemente, para a produção de matéria seca. Comparado às regiões de clima tropical, o número, o tamanho dos tubérculos e o índice de colheita são maiores em condições de clima temperado, devido ao efeito da temperatura amena, que maximiza a fotossíntese líquida (Midmore & Rhoades, 1988).

O desenvolvimento da batata é primariamente afetado pela temperatura do ar, respondendo, assim, ao acúmulo térmico. As temperaturas cardeais (temperatura basal inferior – Tb, temperatura ótima – Tot, e a temperatura basal superior - TB) dependem da fase de desenvolvimento da cultura. Na fase vegetativa (E - IT), a Tb é de 4°C, a Tot é de 15°C e, a TB, é de 28°C (Hartz & Moore, 1978; Ingram & McCloud, 1984) e, na fase da tuberização (IT – IS), as temperaturas cardeais são, respectivamente, de 7, 21 e 30°C (Sands et al., 1979; Manrique & Hodges, 1989). Valores de temperaturas cardeais, para a fase da senescência (IS - PM), são escassos na literatura, sendo sugeridas as mesmas temperaturas cardeais da fase vegetativa (Paula et al., 2005; Streck et al., 2007).

Os valores das temperaturas cardeais da batata indicam tratar-se de uma cultura adaptada a regiões e épocas de cultivo sob temperaturas amenas. Recomenda-se, assim, que o cálculo da soma térmica seja realizado por um método que use as três temperaturas cardeais (Paula et al., 2005), isto é,

$$STd = (Tmed - Tb) \times 1 \text{ dia, quando } Tb < Tmed \leq Tot, \text{ e,}$$

$$ST = (Tot - Tb) \times (TB - Tmed) / (TB - Tot), \text{ quando } Tot < Tmed \leq TB,$$

em que Tmed é a temperatura média diária.

Vale ressaltar que, por ser uma espécie que responde ao fotoperíodo, a resposta do desenvolvimento das plantas de batata à temperatura pode ser variável, ou seja, a soma térmica não é constante para datas diferentes de plantio, especialmente em regiões subtropicais (Paula et al., 2005). Similarmente, a soma térmica, para completar as fases do desenvolvimento de uma determinada cultivar, em condições tropicais do Brasil, deve ser diferente que em condições subtropicais. No entanto, clones adaptados às condições de cultivo de primavera e outono, no sul do Brasil, aproximam-se de uma resposta neutra ao fotoperíodo, não alterando sua soma térmica (Bisognin et al., 2008a).

A temperatura mínima letal da batata depende da cultivar, do estágio de desenvolvimento e, principalmente, da idade e do conteúdo de água nos tecidos da parte aérea da planta. Em geral, o dano inicia-se quando a temperatura da parte da planta, mais exposta, atinge -1 a -2°C, ocorrendo, primeiro, nos tecidos com maiores teores de água, como os vasos do xilema, os meristemas e folhas novas, sendo, a manifestação dos sintomas perceptível, com maior facilidade, nos dias subseqüentes ao dano. Tecidos adultos, com maiores teores de solutos, tal como ocorre durante os 10 dias que antecedem o início da senescência, podem suportar até -3,0°C sem sofrer danos expressivos. As folhas de batata são muito danificadas em temperaturas de -4°C, em qualquer estágio de desenvolvimento, mas a maior redução do tamanho, do número de tubérculos e da produtividade, por planta, manifesta-se quando o frio ocorre no início do enchimento dos tubérculos. A temperatura de -2°C somente afeta a produção quando ocorre no início do enchimento dos tubérculos, mas a redução, em geral, não atinge 40% (Venter, 2006).

Clones do Programa de Melhoramento Genético da Universidade Federal de Santa Maria não apresentaram dano algum, no terço final da fase de tuberização, quando submetidos à temperatura mínima de relva de -3,5°C. Em agrometeorologia operacional, indicam-se, como parâmetros para as cultivares comerciais no Brasil, limites de temperatura mínima de relva de -1,5°C e de -2,5°C, para plantas nos estádios mais e menos sensíveis ao frio, respectivamente. Salienta-se que, a temperatura mínima do ar, que é medida na condição padrão do abrigo meteorológico das estações, nas noites de geada, é cerca de 4 a 5°C maior que a temperatura mínima de relva (Heldwein et al., 1988) e das partes mais expostas das plantas, em cultivos de batata. Esta diferença é também afetada pela localização da lavoura, em relação ao relevo. Lavouras localizadas em áreas com pendente para o quadrante norte têm resfriamento menos acentuado, comparado às áreas côncavas, às baixadas e às encostas voltadas para o quadrante sul, cuja diferença é de 5 a 6°C, em relação ao abrigo meteorológico.

### 2.3 Radiação Solar

A batata é uma planta de metabolismo fotossintético  $C_3$ , adaptada a temperaturas amenas. A curva de resposta da fotossíntese à densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, depende da temperatura da folha, apresentando baixa eficiência em temperaturas acima de  $30^\circ\text{C}$  (Fleisher et al., 2008). Da mesma maneira, os parâmetros da curva de resposta à densidade de fluxo de elétrons fotossintéticos, como o ponto de compensação e saturação lumínica e a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  no ponto de saturação lumínica, variam com a temperatura da folha, sendo que, alguns destes parâmetros, também variam com a idade da planta.

O ponto de compensação lumínica da batata varia entre  $9,5$  e  $87,4 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e, o de saturação lumínica, entre  $326$  a  $449 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O ponto de compensação apresenta uma tendência de aumento entre os 46 e 88 dias após a emergência, o que não ocorre com o ponto de saturação lumínica (Lawson et al., 2001). Estes valores são disponíveis para as regiões tropicais de cultivo, no Brasil, ao longo de todo ano, especialmente durante a época da seca, e, nas regiões subtropicais, durante o outono, a primavera e o verão. Os valores do ponto de compensação lumínica são maiores e, os de saturação lumínica, menores que de outras espécies  $C_3$ , como a laranja, respectivamente, entre 7 e 24 e entre 628 e 938  $\mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Ribeiro et al., 2006). Estas diferenças são devidas ao aumento da fotossíntese bruta até, aproximadamente,  $1600 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Fleisher et al., 2008).

A taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ , no ponto de saturação lumínica das plantas de batata, varia entre  $8,4$  e  $24,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , diminuindo com a idade das plantas, dos 46 aos 88 dias após a emergência (Lawson et al., 2001). Como consequência da alta taxa respiratória das plantas de batata (Fleisher et al., 2008), estes valores são menores que de outras plantas  $C_3$ , como da laranja ( $24$  a  $40$ ) (Ribeiro et al., 2006), soja ( $25$ ) e do arroz ( $26$ ) (Da Matta et al., 2001) e, igualmente menores que das plantas  $C_4$ , como das espécies de *Brachiaria* ( $41$  a  $42$ ) (Dias-Filho, 2002).

O IAF máximo da cultura da batata pode variar de 3 a 6, em função do local de cultivo, como regiões de clima tropical, subtropical ou temperado (Johnson et al., 1988; Johnson & Radcliffe, 1991; Johnson, 1992; Aguiar Netto et al., 2000; Oliveira, 2000), chegando até 7,5 (Kooman & Rabbinge, 1996). Já o IAF crítico da batata varia de 3 a 5, ocorrendo durante a fase da tuberação, estágio que se define o número final de folhas ( $V_F$ ). Em regiões tropicais e subtropicais de cultivo de batata, normalmente não se completa a cobertura total do solo pelo dossel vegetal (Kooman et al., 1996), devido ao elevado espaçamento entre as fileiras e a alta taxa de desenvolvimento. Assim, a máxima interceptação da radiação solar acha-se próxima de 90%, sendo que, no IAF crítico, a interceptação da radiação solar normalmente varia entre 80 e 85% (Johnson et al., 1988; Kooman et al., 1996). Uma função exponencial negativa foi proposta para relacionar a percentagem da radiação solar interceptada (RI) e o IAF, sendo  $RI = \{0,9 * [1 - \exp(-0,667 * IAF)]\} * 100$  (Johnson et al., 1988), cuja representação gráfica encontra-se na Figura 2.

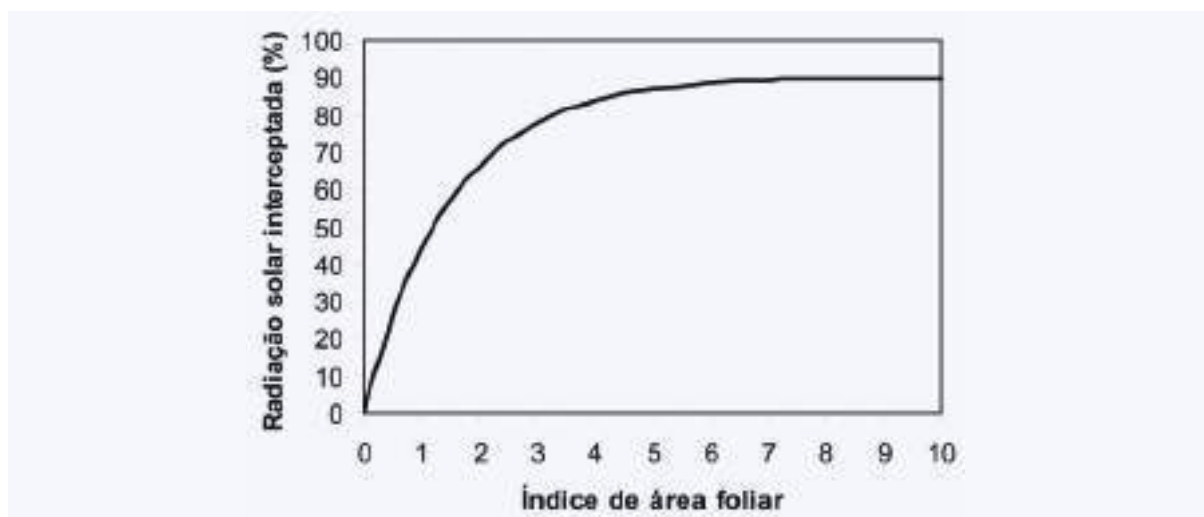


Figura 2. Radiação solar interceptada em função do índice de área foliar das plantas de batata.

## 2.4 Fotoperíodo

O desenvolvimento da planta de batata é afetado pelo fotoperíodo, porém a resposta para a tuberização e o florescimento é muito variável, podendo ser classificada como planta de dia curto, de dia longo ou neutra (insensível ao fotoperíodo). Em geral, a planta de batata é considerada de dia curto para a tuberização e, de dia longo ou neutro, para o florescimento (Levy & Kedar, 1985; Ewing & Struik, 1992; Van Dam et al., 1996). Portanto, dias curtos aceleram e dias longos retardam o início da tuberização; contrariamente, dias longos aceleram e dias curtos retardam ou inibem o florescimento dos clones sensíveis ao fotoperíodo.

A resposta distinta ao fotoperíodo, para a tuberização e o florescimento, confere alta plasticidade para a reprodução, característica pouco comum em outras espécies cultivadas. Tal resposta pode ser observada em regiões mais quentes do Rio Grande do Sul, onde são realizados dois cultivos anuais, um de outono e outro de primavera. A maioria dos clones de batata, avaliados e cultivados, tuberizam em ambos os cultivos, mas somente alguns clones florescem no cultivo de outono. Isto ocorre porque o fotoperíodo é decrescente e desfavorável ao florescimento, durante o outono. No cultivo de primavera, o fotoperíodo é crescente e favorável ao florescimento, à medida que o ciclo avança. Com fotoperíodo acima de 14 h, que ocorre no Rio Grande do Sul, nos meses de dezembro e janeiro, o início da tuberização é atrasado, ou mesmo inibido, em alguns clones mais sensíveis. Mesmo havendo início da tuberização nestes meses, as altas temperaturas de dezembro e janeiro fazem com que a fotossíntese líquida, em nível diário, seja baixa, principalmente pela alta taxa de respiração, o que afeta drasticamente o número e o tamanho dos tubérculos produzidos (Paula, 2005). Quando tais clones são plantados em outubro e novembro, nas regiões mais frias do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a tuberização é iniciada quando o fotoperíodo é ainda inferior a 14 h, favorecendo, também, o florescimento, nos meses de dezembro e janeiro, quando o fotoperíodo é longo (14 a 15 h).

Como a produção de tubérculos é o objetivo principal das lavouras de batatas, enquanto a produção de flores é de interesse apenas em programas de melhoramento, têm-se maiores estudos do efeito do fotoperíodo sobre o início da formação dos tubérculos. Em sendo planta de dia curto para o início de tuberização, o fotoperíodo crítico (definido aqui como o fotoperíodo abaixo do qual a resposta do desenvolvimento ao fotoperíodo é máxima) está entre 11 e 12 h, para a maioria dos clones ou cultivares estudados. Este fotoperíodo é encontrado nas regiões tropicais e, de março a setembro, nas regiões subtropicais do Brasil. Portanto, o fotoperíodo não limita o início da tuberização na maioria das regiões produtoras do Brasil, sendo apenas menos indutivo nos meses de verão, na Região Sul, o que requer a seleção de clones menos sensíveis ao fotoperíodo. Clones e cultivares, com menor sensibilidade ao fotoperíodo, iniciam a tuberização com o mesmo número de folhas e são mais bem adaptadas às condições de cultivo de primavera e outono, resultando em maior somatório da produtividade de tubérculos obtidos nas duas épocas de cultivo (Bisognin et al., 2008a).

## 2.5 Vento

O vento é um elemento meteorológico que pode causar prejuízos, especialmente quando ocorre no final da fase da tuberização, devido, principalmente, à redução da área foliar. A redução do IAF pode estar associada ao enrolamento dos folíolos, ao aparecimento de lesões nas folhas, à morte de hastes e, ou, ao acamamento das plantas, dependendo da intensidade e da duração dos ventos. A consequência da redução do IAF, principalmente durante o enchimento dos tubérculos, é a redução do tamanho dos tubérculos, a produção de matéria seca, nos tubérculos, e a produtividade.

O primeiro sintoma é o enrolamento gradativo dos folíolos, decorrente, em geral, do estresse hídrico causado pelo vento. Portanto, o estresse mecânico por ventos contínuos acentua o efeito do estresse causado por déficit de água no solo. Um sintoma comum do dano causado pelo vento é a formação de áreas bronzeadas, devido ao atrito entre as folhas, sendo a quantidade dependente da intensidade e

da duração dos ventos. Ventos muito intensos também promovem o dilaceramento dos folíolos, bem como danos causados por partículas do solo, arrancadas e arremessadas pelo vento (Pavlista, 2002).

Devido ao excesso de vento, as plantas podem acamar, reduzindo a ventilação e aumentando a umidade relativa do ar no interior do dossel vegetal. Outra consequência é o contato das folhas com o solo e com fontes de inóculo, condição propícia para a ocorrência de doenças. O vento promove, também, torção das hastes, que, dependendo da intensidade, pode chegar a uma volta completa, levando ao colapso do floema. Neste caso, não há transporte de nutrientes e assimilados, da parte aérea para os tubérculos, afetando seu crescimento e a produtividade (Pavlista, 2002).

### 3. EVENTOS ADVERSOS

Chuvas intensas associadas a ventos fortes, durante a fase da tuberização, podem causar acamamento, desorganizando a estrutura do dossel, aumentando o auto-sombreamento no espaço das entrelinhas e a incidência de radiação solar sobre o camalhão. Também ocorre maior exposição do solo ao impacto das gotas de chuva, acelerando a erosão no camalhão e aumentando a exposição dos tubérculos à radiação solar, o que reduz a qualidade, devido à síntese de clorofila pelos mesmos.

O granizo reduz a área foliar, diminuindo, proporcionalmente, a fotossíntese. Além disso, a área foliar remanescente tem menor eficiência fotossintética, devido à maior respiração. Assim, danos de 10% na área foliar, durante a fase da tuberização, podem reduzir a produtividade em até 5%, mas, em geral, esta redução é desprezível. Os danos por granizo e, a consequente redução da produtividade e da qualidade dos tubérculos, dependem do tamanho e da intensidade do mesmo, do estágio de desenvolvimento das plantas e da capacidade de recuperação da área foliar de cada cultivar. Após o início da tuberização, os danos aumentam até o estágio  $V_F$ , com média de redução da produtividade de 55% para o desfolhamento completo e, de 10%, para o desfolhamento de uma quarta parte da planta (Beresford, 1967). Nesta fase, a maior redução da produtividade e da qualidade dos tubérculos ocorre quando o granizo acontece no enchimento dos tubérculos, com índices de 70 a 80% para o desfolhamento completo e, de 10 a 15 %, para o desfolhamento de 20 a 30% da planta. Desfolhamentos menores que 25%, no início ou no final de ciclo, ou menores que 10%, durante a fase da tuberização, em geral, não causam redução da produtividade, desde que parte das hastes não seja danificada e estratégias de manejo sejam adotadas para recuperar a área foliar (Pavlista, 2002). No entanto, os danos físicos por granizo, por facilitarem a entrada de patógenos, também potencializam possíveis danos por doenças foliares e bacterioses, principalmente, se, logo após a ocorrência do evento, não forem aplicados fungicidas à base de cobre e enxofre, e, especialmente, se, nos dias subsequentes ao granizo, as condições de molhamento foliar, de umidade e de temperatura do ar forem favoráveis aos patógenos.

Chuvas contínuas, por vários dias, podem manter o solo com aeração deficiente, levando ao apodrecimento dos tubérculos. Níveis de umidade no solo acima da capacidade de campo, por mais que 24 horas, são prejudiciais às plantas de batata, principalmente em solos argilosos que apresentam drenagem deficiente. O cultivo de batata, em áreas de frequente encharcamento, deve ser evitado. Os efeitos da elevada umidade no solo podem ser parcialmente contornados com o uso de camalhões altos e amontoas frequentes no início do ciclo, para manter o volume de solo do sistema radicular mais bem aerado. Excesso de chuvas, após o plantio, facilita o apodrecimento dos tubérculos-semente, atrasa a emergência e reduz o número de hastes emergidas. Durante a senescência, o excesso de chuva favorece o ataque de doenças e o apodrecimento dos tubérculos, reduzindo a qualidade e a possibilidade de armazenamento dos tubérculos, após a colheita.

Áreas do terreno com excesso de umidade também estão sujeitas ao dano por descargas elétricas. O tamanho da área afetada está diretamente associado à umidade do solo e à intensidade da descarga elétrica. Normalmente, as plantas são afetadas em círculos, diminuindo os sintomas do centro para a borda. Os sintomas na parte aérea surgem da base para o ápice, quando ocorre o colapso da planta. Nos tubérculos, os sintomas aparecem mais tarde, ocorrendo o apodrecimento antes mesmo de serem colhidos (Pavlista, 2002).



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A batata é uma das espécies mais sensíveis ao ozônio, existindo, porém, grande diversidade genética entre cultivares e clones, permitindo reações diversas, desde tolerância até sensibilidade. As consequências do ozônio aparecem rapidamente, sendo que, cultivares sensíveis expostas a 0,04 ppm de O<sub>3</sub>, durante quatro dias, já podem apresentar danos. Plantas jovens e pequenas são mais sensíveis, manifestando danos, primeiramente, nas folhas mais velhas, em que tiras marrons ou pretas evoluem e se tornam desbotadas e, em casos extremos, se fundem em manchas maiores. O colapso de parte do tecido, induzido pelo ozônio, o predispõe ao ataque de doenças foliares e a uma senescência precoce das folhas, o que afeta a produtividade (Pavlista, 2002).

A possibilidade da implementação de um sistema de plantio direto da batata, no futuro (Fernandes et al., 2006), a exemplo do que já ocorre para outras culturas agrícolas, leva a refletir sobre as mudanças do microclima no dossel de plantas, principalmente no terço inicial do ciclo de desenvolvimento. Os riscos de danos causados por geadas devem ser considerados com maior probabilidade e intensidade, comparativamente aos cultivos feitos em solo mobilizado, estipulando-se uma diferença de -0,5 a -1,0°C, dependendo da densidade e da proporção de área da cobertura de palha. Além disso, deve ser considerada uma maior amplitude térmica diária com os respectivos efeitos sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Outros fatores ambientais podem interferir na produtividade e na qualidade de uma lavoura de batata, mas os dados são escassos e foram obtidos para condições de cultivos diferentes das brasileiras. Assim, os estudos sobre a cultura da batata devem ser incentivados, no Brasil.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, S.; STEVENSON, W. R. Water management, disease development, and potato production. **American Potato Journal**, Orono, v. 67, p. 3-11, 1990.

AGUIAR NETTO, A. O.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, S. Z. Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, D.F., v. 35, n. 5, p. 901-907, 2000.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper n. 56).

BÄTZ, W. et al. **Entwicklungsstadien der kartoffel**. Berlin: Biologische Bundesanstalt für land-und forstwirtschaft, 1980. (Merkblatt , n. 27/5).

BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Deficiência hídrica em vários estágios de desenvolvimento da batata. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 119-123, 1998.

BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura da batata nas condições edafoclimáticas da região de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 322-326, 1999.

BEUKEMA, H. P.; VAN DEER ZAAG, D. E. **Introduction to potato production**. Wageningen: PUDOC, 1990. 208 p.

BERESFORD, B. C. Effect of simulated hail damage on yield and quality of potatoes. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 44, n. 10, p. 347-354, 1967.

BISOGNIN, D. A. et al. Desenvolvimento e rendimento de clones de batata na primavera e no outono. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 6, p. 699-705, 2008a.

BISOGNIN, D. A. et al. Envelhecimento fisiológico de tubérculos de batata produzidos durante o outono e a primavera e armazenados em diferentes temperaturas. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 59-65, 2008b.

BOOTH, R. H.; SHAW, R. L. **Principios de armazenamento de papa**. Lima: Agropecuária Hermisferio Sur, 1990. 107 p.

BRADSHAW, J. E.; MACKAY, G. R. Breeding strategies for clonally propagated potatoes. In: BRADSHAW, J. E., MACKAY, G.R. **Potato genetics**. Cambridge: CAB International, 1994. p. 467-497,

BURTON, W. G. Challenges for stress physiology in potato. **American Potato Journal**, Orono, v. 58, n. 1, p. 3-14, 1981.

CHEONG, J. K. C. W. Y.; GOVINDEN, N. **Quality of potato during storage at three temperatures**. In: ANNUAL MEETING OF AGRICULTURAL SCIENTISTS, 3., 1998, Réduit, Mauritius. **Proceedings...** Réduit: Food and Agrucultural Research Council, 1999. P.175-180. Disponível em: < <http://www.gov.mu/portal/sites/nbc/moa/farc/amas98/final.PDF>>. Acesso em: 24 nov. 2008

DA MATTA, F. M. et al. Actual and potential photosynthetic rates of tropical crop species. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 24-32, 2001.

DEMAGANTE, A. L.; VAN DER ZAAG, P. The response of potato (*Solanum* spp.) to photoperiod and light intensity under high temperatures. **Potato Research**, Wageningen, v. 31, n. 1, p. 73-83, 1988.

DIAS-FILHO, M. B. Photosynthetic light response of the C<sub>4</sub> grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 65-68, 2002.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Rome: FAO, 1979. 212 p. (Nota técnica riego drenaje, n. 33).

ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Exigências hídricas e coeficientes culturais da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. 62 f., Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

EWING, E. E.; STRUIK, P. C. Tuber formation in potato: induction, initiation, and growth. **Horticultural Review**, Leuven, v. 14, p. 89-198, 1992.

- FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: 26 dez. 2008.
- FERNANDES, H. C. et al. Avaliação da cultura da batata instalada por uma plantadora adaptada para trabalhar em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 305, p. 65-73, 2006.
- FLEISHER, D. H.; TIMLIN, D. J.; REDDY, V. R. Elevated dioxide and water stress effects on potato canopy gas exchange, water use, and productivity. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, p. 1109-1122, 2008.
- FRANKE, A. E., KÖNIG, O. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) da batata (*Solanum Tuberosum* L.), nas condições edafoclimáticas de Santa Maria, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 4, p. 625-630, 1994.
- HARTZ, T. K.; MOORE, F. D. Prediction of potato yield using temperature and insolation data. **American Potato Journal**, Orono, v. 55, n. 7, p. 431-436, 1978.
- HELDWEIN, A. B. et al. Análise das temperaturas mínimas ocorridas em Santa Maria, RS. I - Estimativa das temperaturas mínimas do ar a 5 cm da superfície do solo relvado e do solo desnudo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 3-14, 1988.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 26 dez. 2008.
- INGRAM, K. T.; McCLOUD, D. E. Simulation of potato growth and development. **Crop Science**, Madison v. 24, n. 1, p. 21-27, 1984.
- JEFFERIES, R. A.; MACKERRON, D. K. L. Aspects of the physiological basis of cultivar differences in yield of potato under droughted and irrigated conditions. **Potato Research**, Wageningen, v. 30, n. 2, p. 201-217, 1987.
- JEFFERIES, R. A.; MACKERRON, D. K. L. Responses of potato genotypes to drought. II. Leaf area index, growth and yield. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 122, n. 1, p. 105-112, 1993.
- JOHNSON, K. B. et al. Modelling the influences of plant infection rate and temperature on potato foliage and yield losses caused by *Verticillium dahliae*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, p. 1198-1205, 1988.
- JOHNSON, K. B. et al. Validation of a simple potato growth model in the North Central United States. **American Potato Journal**, Orono, v. 65, n. 1, p. 27-44, 1988.
- JOHNSON, K. B.; RADCLIFFE, E. B. Validation of a model simulating the feeding effects of potato leafhopper (*Empoasca fabae*) on potato growth. **Crop Protection**, London, v. 10, n. 5, p. 416-422, 1991.
- JOHNSON, K. B. Evaluation of a mechanistic model that describes potato crop losses caused by multiple pests. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 82, n. 3, p. 363-369, 1992.
- KASHYAP, P. S.; PANDA, R. K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 50, n. 1, p. 9-25, 2001.
- KASHYAP, P. S.; PANDA, R. K. Effect of irrigation scheduling on potato crop parameters under water stressed conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 49-66, 2003.
- KOOMAN, P. L. et al. Effects of climate on different potato genotypes. 1 – Radiation interception, total and tuber dry matter production. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 5, p. 193-205, 1996.
- KOOMAN, P. L.; RABBINGE, R. An analysis of the relationship between dry matter allocation to the tuber and earliness of a potato crop. **Annals of Botany**, Oxford, v. 77, p. 235-242, 1996.
- LARSEN, D. C. Simplifying potato irrigation scheduling the Idaho Program. **American Potato Journal**, Orono, v. 61, n. 4, p. 215-227, 1982.
- LAWSON, T. et al. Photosynthetic responses to elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in field-grown potato (*Solanum tuberosum*). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 158, n. 3, p. 309-323, 2001.
- LEVY, D.; KEDAR, N. *Solanum tuberosum*. In: HALEVY, A. H. **CRC Handbook of flowering**. Boca Raton: CRC, 1985. vol. 4, p. 363-366
- LEVY, D. The response of potatoes to a single transient heat or drought stress imposed at different stages of tuber growth. **Potato Research**, Wageningen, v. 28, n. 4, p. 415-424, 1985.
- LOPES, C. A.; BUSO, J. A., **Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 1997. 36 p. (Instruções técnicas da Embrapa Hortaliças, n. 8),
- LYNCH, D. R.; TAI, G. C. V. Yield and yield component response of eight potato genotypes to drought stress. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 1207-1211, 1989.
- MANRIQUE, L. A.; HODGES, T. Estimation of tuber initiation in potatoes grown in tropical environments based on different methods of computing thermal time. **American Potato Journal**, Orono, v. 66, n. 7, p. 425-436, 1989.
- MEIER, U. **Growth stages of mono- and dicotyledonous plants**. 2. ed. Berlin: Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 2001. 158 p. (BBCH Monograph)
- MENEZES, C. B. et al. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras “das águas” e de inverno no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p. 776-783, 1999.
- MIDMORE, D. J.; RHOADES, R. E. Applications of agrometeorology to the production of potato in the warm tropics. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 214, p. 103-136, 1988.
- OLIVEIRA, C. A. S. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 5, p. 940-950, 2000.
- PAULA, F. L. M. **Modelagem do desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.) a campo**. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- PAULA, F. L. M. et al. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1034- 1042, 2005.
- PAVLISTA, A. D. Environmental effects. **Potato Eyes**, Nebraska, v. 14, n. 1, p. 1-4, 2002.
- PEREIRA, A. B. et al. Estimativa da evapotranspiração máxima da batata nas condições edafoclimáticas de Botucatu-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 53-58, 1995a.
- PEREIRA, A. B. et al. Consumo d'água e coeficiente de cultura da batata (*Solanum tuberosum* L. cv. Itararé) em plantio de inverno no município de Botucatu-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 59-62, 1995b.
- PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa, 2003. Parte 2: Planta, p. 80-104.
- PRANGE, R. K. et al. Reduction in potato growth at high temperature: role of photosynthesis and dark respiration. **American Potato Journal**, Orono, v. 67, n. 6, p. 357-369, 1990.
- REBOUR, H.; DELOYE, M. La realización de los riegos. In: REBOUR, H.; DELOYE, M. (Ed.). **El Riego**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1971. p. 245-286
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F. Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 670-678, 2006.

---

SANDS, P. J.; HACKETT, C.; NIX, H. A. A model of the development and bulking of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). 1- Derivation from well-managed field crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 2, n. 4, p. 309-331, 1979.

---

SLATER, J. W. The effect of night temperature on tuber initiation of the potato. **Potato Research**, Wageningen, v. 11, n. 1, p. 14-22, 1968.

---

STRECK, N. A. et al. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 142, n. 1, p. 1-11, 2007.

---

---

VAN DAM, J.; KOOMAN, P. L.; STRUIK, P. C. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Potato Research**, Wageningen, v. 39, n. 1, p. 51-62, 1996.

---

VAYDA, M. E. Environmental stress and its impact on potato yield. In: BRADSHAW, J. E., MACKAY, G. R. **Potato genetics**. Cambridge: CAB International, 1994. p. 239-261.

---

VENTER, C. **Inheritance of freezing stress in South African potato (*Solanum tuberosum*) germplasm**. 121 f. Dissertation (MSc)-Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of the Free State, Bloemfontein, 2006.

---

# CANA DE AÇÚCAR

Foto: Clix (usuário do Stock.xchng)





# CANA-DE-AÇÚCAR

---

Fabio Ricardo Marin<sup>(1)</sup>  
Giampaolo Queiroz Pellegrino<sup>(2)</sup>  
Eduardo Delgado Assad<sup>(1)</sup>  
Hilton Silveira Pinto<sup>(2)</sup>  
Jurandir Zullo Junior<sup>(2)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Ao elaborar seu sistema de classificação vegetal, Lineu (1753) descreveu duas espécies de cana-de-açúcar, isto é, *Saccharum Officinarum* e *Sacharum Spicatum*. Atualmente, as espécies de cana-de-açúcar são classificadas como *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinensis*, *S. barberi* e *S. robustum*, pertencentes à família *Poacea*.

Lineu indicou também que as espécies estudadas eram originárias das Índias, onde seu uso já ocorria desde 1500 a.C, e, desde os anos 300 a.C, já era uma cultura de grande importância econômica (Aranha & Yan, 1987). Há também indícios de que, neste período, a cana-de-açúcar também era utilizada na China (James, 2004), mas sua origem verdadeira talvez tenha sido a Nova Guiné, onde foram encontrados registros com mais de 8000 anos.

No Brasil, a cana-de-açúcar chegou logo após o descobrimento, mas a cultura ganhou importância econômica a partir da segunda metade do século XVI, quando os engenhos do Nordeste Brasileiro passaram a operar em Pernambuco, Bahia, Alagoas, Sergipe e Paraíba. No século XVII, a produção de cana-de-açúcar expandiu-se para o Pará e o Amazonas, onde os engenhos orientaram-se para a produção de cachaça, chegando, em seguida, ao Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. Nesse período, a cultura atendia perfeitamente à estratégia de Portugal, associando a ocupação intensa da colônia à produção de um item altamente lucrativo para a metrópole, na Europa (Canabrava, 2005).

No século XIX, a expansão mundial dos pólos produtores de açúcar reduziu a importância do Brasil no mercado mundial, comprometendo assim a viabilidade econômica da atividade no País. Naquele período, São Paulo e Rio de Janeiro firmaram-se como pólos fornecedores para as Regiões Sul e Sudeste. Em 1933, foi criado o Instituto de Açúcar e Alcool, com a finalidade de regular a produção interna e desenvolver pesquisas sobre a cultura. Em 1973, com a primeira crise do petróleo, o Brasil iniciou o Programa Nacional do Alcool - ProAlcool - com o objetivo de inserir o etanol na matriz energética brasileira.

Atualmente, a cana-de-açúcar ocupa, no País, mais de 7 milhões de hectares, sendo o Brasil o maior produtor mundial, seguido pela Índia, Tailândia e Austrália. O setor sucro-alcooleiro fatura R\$40 bilhões por ano, direta e indiretamente, gerando mais de 3,6 milhões de empregos e reunindo cerca de 70 mil produtores (DIEESE, 2007). Na safra 2007-2008, o Brasil produziu cerca de 30 milhões de toneladas de açúcar e 22 bilhões de litros de etanol (UNICA, 2009).

### Morfologia

A cana-de-açúcar desenvolve-se sob a forma de touceiras, cuja parte aérea é formada por colmos, folhas, inflorescências e sementes, enquanto a parte subterrânea é composta por raízes e rizomas (Mozambani et al., 2006).

O sistema radicular da cana-de-açúcar é ramificado, do tipo fasciculado, com maior quantidade de raízes nas camadas mais superficiais do solo. Estima-se que cerca de 85% da massa radicular total se encontre nos primeiros 50 cm de profundidade e, cerca de 60%, nos

---

1- Pesquisador, EMBRAPA – Informática Agropecuária, Av. André Tosello, 209, Barão Geraldo, C.P. 6041, CEP 13083-886, Campinas, SP. E-mail: marin@cnptia.embrapa.br

2- Pesquisador, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, CEP 13083-970, Campinas, SP.

primeiros 30 cm de profundidade.

Segundo Blackburn (1984), as raízes da cana podem ser agrupadas em três tipos principais: no primeiro grupo, encontram-se as raízes que dão sustentação à planta, atingindo profundidade de aproximadamente 1,5m; o segundo grupo é formado pelas raízes superficiais, mais finas e com alta capacidade de absorção de água e nutrientes; e o terceiro tipo é formado por raízes muito profundas, que podem chegar a 6 m de profundidade (Evans, 1936) e têm a finalidade principal de abastecer a planta com a água das camadas mais profundas do solo, em períodos de estiagem prolongada (SMITH, 2005).

O crescimento e a distribuição das raízes da cana-de-açúcar variam fortemente em função da idade da planta, mantendo-se lento até o 6º mês, quando a cana pode acumular até 1,8 t ha<sup>-1</sup> de raízes, acelerando até seu máximo desenvolvimento, por volta do 12º mês, quando a massa de raízes pode chegar a 8 t ha<sup>-1</sup> (INFORZATO & ALVARES, 1957).

A profundidade do sistema radicular varia em função da textura e da fertilidade do solo, sendo também função da variedade, do ciclo e do vigor da cultura. De modo geral, pode-se estabelecer que a cana-de-açúcar apresenta desenvolvimento radicular sob condições de densidade do solo inferior a 1,46 g cm<sup>-3</sup>, em solos argilosos e, 1,75 g cm<sup>-3</sup>, em solos arenosos (Viehmeyer & Hendrickson, 1948). É difícil, com base na literatura, compilar informações gerais sobre a profundidade de enraizamento, dada a grande variabilidade nos resultados obtidos. De modo geral, em solos menos férteis ou mais compactados, observa-se maior densidade de raízes nas camadas superficiais, enquanto, nos solos mais férteis e menos adensados, as raízes distribuem-se de modo mais uniforme no perfil (Costa, 2005). Kassan & Smith (2001) sugerem que a profundidade efetiva máxima do sistema radicular da cana-de-açúcar é de 1,0 a 1,2m, valor raramente observado no Brasil, mesmo em condições ótimas. Para o País, Koffler & Donzeli (1987) sugerem que, para solos mais adequados para o cultivo da cana-de-açúcar, com textura argilosa, relevo plano e alta fertilidade, as raízes da cana têm, normalmente, profundidade efetiva em torno de 60 cm, enquanto que, em solos arenosos, pouco férteis e com relevo ondulado, onde o cultivo é considerado desfavorável, observa-se profundidade efetiva do sistema radicular inferior a 30cm.

O colmo da cana-de-açúcar é uma haste sem ramificações, com secção transversal aproximadamente circular, diferenciada em segmentos compostos por um nó e um entrenó. O nó consiste de uma gema lateral situada junto à inserção foliar, contendo primórdios foliares e um anel de crescimento. Os nós são normalmente espaçados, em intervalos de 15 a 25 cm, sendo mais espaçados na parte superior do colmo, onde ocorre a alongação e, mais próximos entre si, na base da planta (Blackburn, 1984). A distância entre os nós é regulada pelas condições meteorológicas experimentadas pela planta, ao longo do ciclo, notadamente a disponibilidade de água no solo.

Dentre outros aspectos, as variedades diferenciam-se entre si pelo comprimento do internócio, pelo diâmetro do colmo, pela rigidez e pela coloração. A epiderme do colmo é recoberta por uma camada de cera que reduz a perda de água e protege o parênquima, que é composto por células que armazenam o suco e entremeado por fibras que conferem rigidez ao colmo. As células parenquimáticas são também responsáveis pelo acúmulo de sacarose durante a maturação.

O colmo da cana constitui-se num reservatório onde, em condições favoráveis à maturação, é acumulada grande quantidade de sacarose, sendo composto por sucessões de entrenós, em diferentes estádios fisiológicos, emitidos em intervalos de, aproximadamente, 10 dias (GLASZIOU et al., 1965). Os entrenós imaturos, localizados na região do colmo com folhas verdes, são fibrosos, com altas concentrações de hexoses e baixa concentração de sacarose.

À medida que os entrenós desenvolvem-se, a taxa de crescimento diminui, até anular-se, quando ocorre o amadurecimento. A taxa de acúmulo de sacarose é maior durante a última fase do ciclo da cana, quando a planta apresenta pequena taxa de crescimento, coincidindo com o período de restrição climática, que induz a maturação. Durante o crescimento, o teor de sacarose é maior nos entrenós basais, diminuindo com a aproximação do ápice da planta (MACHADO, 1987).

As folhas, compostas pela bainha e pela lâmina foliar, são conectadas ao colmo na base dos nós, de modo alternado em duas linhas opostas no caule (James, 2004). A bainha foliar tem uma estrutura que envolve o colmo na região do nó, dando origem, em sua parte superior, à lâmina foliar. A bainha contém elementos morfológicos muito úteis para a diferenciação entre as variedades, ou seja, a lígula, a aurícula e o “*dewlap*”. Entre as variedades, há grandes diferenças quanto ao comprimento, cor, largura, ângulo de inserção foliar, rigidez, flacidez, pelos ou manchas cloróticas na lâmina foliar. A bainha é responsável pelo processo de fotossíntese, sendo de grande importância na definição das características da variedade quando à produtividade, população e adaptação ambiental.

A inflorescência ou panícula, da cana-de-açúcar, é chamada de flecha, bandeira ou flor, com tamanho, cor e formas variáveis segundo as espécies ou cultivares. É originária da gema apical, com um eixo principal ou ráquis, que é o prolongamento do último entrenó do ápice da cana. Do ráquis saem os eixos secundários e, destes, os terciários, conferindo à inflorescência um aspecto piramidal (CASAGRANDE, 1991). A inflorescência é formada de flores muito pequenas, arranjadas em forma de espigas. As flores são hermafroditas, protegidas por duas brácteas, que protegem e desencadeiam a abertura da flor propriamente dita. A semente da cana-de-açúcar é uma cariopse, com cerca de 1,0 mm de diâmetro.

### Variedades e sistemas de produção

Com vistas à obtenção de cultivares adequados aos interesses agrônomicos e industriais e, na busca pelo desenvolvimento de variedades próprias ao clima e ao solo do Brasil, desenvolveu-se um robusto programa de melhoramento genético, estudando as características das variedades, as melhores épocas para explorá-las e o ambiente mais favorável para o plantio, em relação à água e ao solo, (Rosseto & Santiago, 2008).

As características das diversas variedades são rusticidade, teor de açúcar, resistência a doenças e, principalmente, diferenciação quanto ao tempo para a maturação, de acordo com a extensão do período de desenvolvimento e o início da maturação (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2004). De modo geral, as variedades são agrupadas com base em três classes de maturação, a saber, variedades precoces, com ciclo de desenvolvimento mais curto e maturação antecipada para abril e junho, no Centro-sul do Brasil; variedades de ciclo médio, com maturação entre junho e setembro; e variedades tardias, com ciclo de desenvolvimento mais longo e máxima concentração de sacarose, em novembro.

As características mais pesquisadas variam em função do mercado e ao longo do tempo. Atualmente, do total de cana produzida, metade é destinada à produção de etanol e, o restante, para açúcar. Portanto, as variedades ora desenvolvidas visam obter alto teor de açúcar, sem perda da rusticidade.

Em 2008, Montans Neto et al. (2008) apresentaram levantamento realizado em 99 unidades produtoras, totalizando uma área de 2.544.198 hectares, constatando que as variedades RB ocupavam 54% da área total de produção, seguidas pelas variedades SP, com 39%. Na ocasião, as variedades IAC representavam 2% e, as demais variedades (clones e, ou, variedades antigas), ocupavam 5% da área total de produção.

Normalmente, o sistema de produção de cana-de-açúcar é constituído de uma safra oriunda do plantio do ano anterior, seguido de 5 ou mais safras oriundas da rebrota das soqueiras. O corte da cana-de-açúcar possibilita a renovação da cultura, não só da parte aérea, mas também do seu sistema radicular. Na soqueira, o sistema radicular apresenta-se mais superficial que na cana-planta, com cerca de 60% das raízes à profundidade de 30 cm. Em torno de 20 a 30 dias do corte, observa-se intensa brotação das soqueiras (SEGATO, 2006).

O plantio da cana-de-açúcar pode ser realizado, principalmente, de duas maneiras, conhecidas como sistema de cana-de-ano e sistema de cana-de-ano-e-meio. Nas condições climáticas do Centro-Sul do Brasil, a cana-de-ano é normalmente plantada entre setembro e novembro, com



colheita a cerca de 12 meses depois. Neste ciclo, a cana vegeta ativamente por cerca de 8 meses, ocorrendo o processo de maturação nos 4 meses finais. Assim, o canavial apresenta máxima taxa de crescimento entre novembro e abril, em virtude do longo fotoperíodo, da alta temperatura e da maior disponibilidade hídrica.

A cana-de-ano-e-meio é normalmente plantada entre janeiro e abril, sendo colhida entre maio e novembro no ano seguinte, dependendo da época de maturação da variedade utilizada, permanecendo em média 18 meses no campo, daí sua denominação. Neste sistema, após seu estabelecimento, o canavial passa por uma espécie de período de repouso durante seu primeiro inverno, sendo cortada no inverno do ano seguinte. Assim como na cana-de-ano, o período de maior crescimento da cana-de-ano-e-meio estende-se de novembro a abril. Contudo, como o canavial atinge este período já mais desenvolvido, apresenta-se capaz de responder mais rapidamente às condições ambientais favoráveis à cultura.

Segundo Segato et al. (2006), em ambos os sistemas de produção, para que o canavial possa aproveitar, ao máximo, as condições favoráveis de fotoperíodo, temperatura e chuva do verão, é importante que o sistema radicular já esteja desenvolvido e que as plantas contem com pelo menos 12 folhas.

As soqueiras da cana-de-açúcar têm desenvolvimento semelhante ao observado nos sistemas plantados, mas com diferenças específicas no processo de enraizamento e brotação da soca e, principalmente, com queda na produtividade em relação à cana-planta, o que se justifica pela compactação (Verma, 2002) e pela queda na fertilidade do solo sob cultivo contínuo (Hunsigi, 2001), além da utilização ineficiente dos fertilizantes aplicados (Sundara e Tripathi, 1999).

## 1.1 Fenologia

Com base no padrão de acúmulo de matéria seca ao longo do ciclo da cana-de-açúcar, Machado (1987) estabeleceu que o ciclo da cultura pode ser dividido em 3 fases distintas: 1) fase inicial, em que o crescimento é lento; 2) fase de rápido crescimento, em que até 80% de toda matéria seca é acumulada; e 3) fase final, em que o crescimento é novamente lento. Segundo Câmara (1993), o ciclo da cana-de-açúcar pode ser dividido em quatro fases características: brotação e emergência, estabelecimento e perfilhamento, crescimento intenso e maturação (Figura 1). Pode-se, portanto, notar a correspondência entre as duas abordagens, sendo que o sistema de Câmara (1993) consiste apenas na subdivisão da fase de rápido crescimento, em duas etapas.

### Emergência

A emergência vai da brotação à emergência das folhas, começando entre 7 e 10 dias após o plantio e, normalmente, durando entre 30 e 50 dias, sendo uma fase dependente da umidade, da aeração e temperatura do solo, da sanidade e das reservas energéticas dos toletes utilizados no processo de propagação vegetativa (PARANHOS, 1987).

A energia consumida na brotação tem origem nas reservas contidas nos toletes. Cerca de 20 a 30 dias após o plantio, observa-se a emergência de brotos em campo, denominados brotos primários, contendo uma sucessão de nós e entrenós muito próximos entre si.

A água tem um importante papel na rebrota. Mesmo assim, a escassez de água não implica em grandes perdas nesta fase, como ocorre na fase seguinte, onde a falta de água pode comprometer o rendimento final da cultura, pela queda na população de plantas.

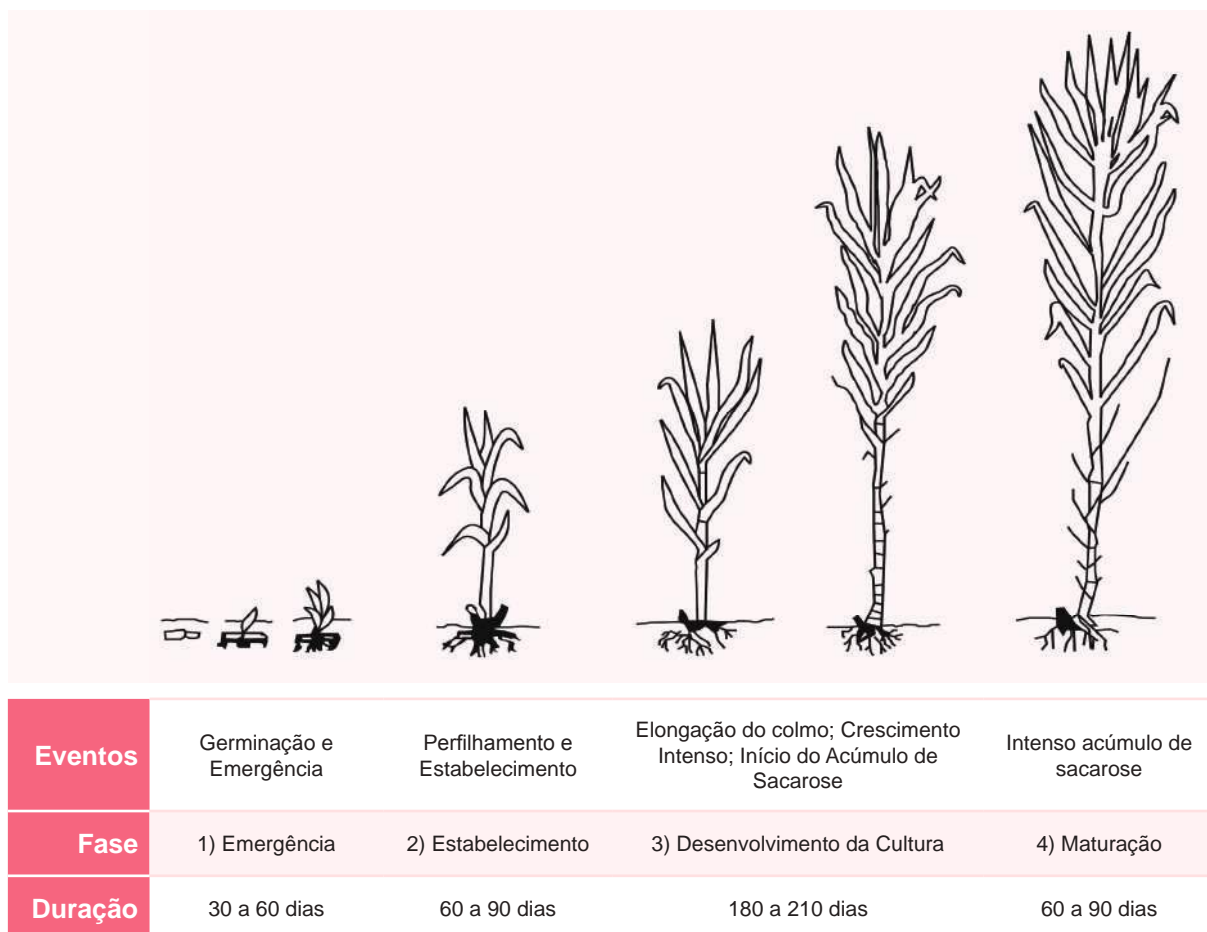


Figura 1. Representação esquemática das fases fenológicas da cana-de-açúcar. Adaptado de Doorembo & Kassan (1979) e Gasho & Shih (1983).

### Estabelecimento

A fase de estabelecimento da cultura envolve a formação das raízes e a emissão de folhas, assegurando a sobrevivência das plantas a partir da produção das suas próprias reservas. Nesta fase, um evento de extrema importância é o perfilhamento, que constitui um processo de formação de novos colmos a partir de uma mesma planta, em sua parte subterrânea, constituída de toletes ou colmos anteriormente formados, com intensidade variável em função da espécie, variedade e manejo (Suguitani, 2006).

O perfilhamento começa cerca de 40 dias após o plantio, podendo durar até 120 dias, sendo um processo fisiológico de ramificação subterrânea que dá origem aos brotos secundários. Estes brotos, por sua vez, também dão origem a novas raízes, acelerando o desenvolvimento do sistema radicular.

Em condições normais, o perfilhamento responde às condições de temperatura e precipitação, apresentando um pico de produção de perfilhos entre os meses de novembro e dezembro, nas condições do Centro-sul do Brasil, com queda progressiva até a colheita, em decorrência da maior competição intra-específica, sobretudo em relação à radiação solar (Machado et al., 1982; Prado, 1988). INMAN-BAMBER (1994) observou que a fase de aumento na taxa de perfilhamento, em cana soca, inicia-se com 500 graus-dia, °C.d, estendendo-se até cerca de 1200 °C.d, admitindo-se temperatura-base 16°C.

O desenvolvimento foliar determina a interceptação da radiação solar e, portanto, a capacidade fotossintética da cultura, de modo que, quanto mais rápido for o crescimento foliar, maior será o período em que o canavial estará produzindo biomassa e, por conseguinte, maior deverá ser a produtividade do canavial (Machado, 1987).

No final do perfilhamento, os colmos mais desenvolvidos, que continuaram crescendo em altura e diâmetro, têm seu desenvolvimento acelerado, pois já não competem com os perfilhos mais jovens, eliminados em decorrência da competição por radiação (INMAN-BAMBER, 1994). Nesta fase, em solos profundos e férteis, as raízes mais profundas estão em franco crescimento, com a finalidade de assegurar o suprimento hídrico à planta, durante o período seco do ano.

Na fase de estabelecimento, o desenvolvimento inicial vigoroso e rápido é importante também sob o ponto de vista do manejo da cultura, pois o fechamento precoce do dossel é indicativo da formação de uma população de plantas adequada, garantindo alta eficiência na absorção da energia solar e o controle das plantas daninhas, que não dispõem, nesta condição, de níveis mínimos de radiação para sua manutenção.

### Desenvolvimento da cultura

Durante a fase de crescimento, a sacarose produzida acumula-se prioritariamente nos internódios basais dos colmos mais velhos, com concentrações progressivamente menores à medida que se aproxima do ápice. A síntese de sacarose é realizada nas folhas e transportada até o colmo, onde é armazenada nos vacúolos do parênquima, após uma série de processos fisiológicos (Machado, 1987).

Ainda segundo Machado (1987), durante a fase de desenvolvimento vegetativo, os processos fisiológicos da cana-de-açúcar não estimulam o acúmulo da sacarose; ao contrário, estimulam a planta a continuar seu desenvolvimento, utilizando a maior parte dos fotoassimilados disponíveis. Em resumo, sob condições climáticas favoráveis ao rápido crescimento, o acúmulo de sacarose é mínimo, mesmo nos internódios maduros; porém, quando as condições passam a restringir o desenvolvimento vegetativo, estimula-se o acúmulo de sacarose, dando início à fase de maturação.

Cabe notar que, em alguns casos, o uso excessivo de fertilizantes, para elevar a produtividade, pode retardar a maturação, favorecendo o crescimento vegetativo, sendo o excesso de nitrogênio a causa mais comum neste processo (SEGATO, 2006).

Quando o objetivo é a produção de colmos ricos em sacarose, inclui-se o florescimento dentro do período vegetativo, pois, na prática, ele não é considerado como uma fase fenológica. Ao contrário das culturas onde o produto colhido é fruto do processo reprodutivo da cultura, na cana-de-açúcar o florescimento é um evento fisiológico normalmente indesejado em áreas comerciais, uma vez que implica em mobilização da energia armazenada na produção da inflorescência, dando origem ao processo conhecido como “isoporização do colmo”. Contudo, em programas de melhoramento genético, o florescimento é necessário para a produção de novas progênies (Moore, 1987) e, em muitos casos, precisa ser induzido artificialmente, utilizando-se de câmaras climatizadas para obtenção das condições indutoras adequadas.

Stevenson (1965) descreveu os fatores que causam o estímulo para que o meristema apical se modifique, deixando de produzir folhas e colmos, passando a formar a inflorescência. Segundo ele, o florescimento da cana-de-açúcar normalmente ocorre quando as taxas de crescimento começam a diminuir devido à redução no fotoperíodo. Assim, segundo Stevenson (1965), pode-se inferir que o florescimento normalmente ocorre após o solstício de verão, com fotoperíodo entre 12h e 12,5h e temperatura noturna acima de 18°C, enquanto Bull & Glasziou (1975) estabeleceram a necessidade de, pelo menos, 10 dias nestas condições, para desencadear o florescimento. Daí, uma regra quase geral que pode ser depreendida é que, no Hemisfério Sul, o estímulo à diferenciação meristemática, para a formação da flor, ocorrerá nos meses de fevereiro, março e abril, dando-se o florescimento nos meses de abril, maio e junho. Já no Hemisfério Norte, a diferenciação ocorreria em agosto, setembro e outubro, com a conseqüente floração de outubro a janeiro (Rodrigues, 1995).

A ocorrência de florescimento, segundo Pereira et al. (1983), é dependente das condições de umidade do solo, fotoperíodo e temperatura do ar. Para a variedade NA56-79, os autores constaram que o florescimento pode ser previsto pela contagem do número de dias com temperaturas mínimas acima de 18°C e máximas abaixo de 31°C, no período que vai de 25 de fevereiro até 20 de março, como segue:

$$IF = 1,263 - 0,06764 \cdot X_1 - 0,02296 \cdot X_2$$

Na equação, IF é um indicador da probabilidade de ocorrência do florescimento, sendo que, para IF=0, há 50% de probabilidade de ocorrer florescimento; para IF<0, o florescimento deve ocorrer e, para IF>0, não haverá florescimento; X1 é o número de noites com temperaturas mínimas acima de 18°C, durante o período indutivo; X2 é o número de dias com temperaturas máximas abaixo de 31°C, durante o período indutivo.

### **Maturação**

Os colmos, sobreviventes da competição na fase de perfilhamento, passam a acumular sacarose, proveniente, mais intensamente, da fotossíntese, dando início à fase de maturação (SEGATO, 2006). Esta fase inicia-se nos meses finais do ciclo da cultura, quando algum estresse ambiental, normalmente, a deficiência hídrica, a redução na irradiância solar ou o frio, torna-se desfavorável ao desenvolvimento vegetativo da cultura. Quando as condições ambientais não desencadeiam o início da maturação, agentes “amadurecedores” exógenos também são utilizados para iniciar o processo.

Após alcançar o ponto máximo de acúmulo de sacarose, o atraso na colheita do canavial provoca queda no rendimento industrial, exigindo um planejamento operacional adequado para evitar perdas de rendimento.

A maturação da cana-de-açúcar pode ser considerada sob os ângulos botânico, fisiológico e econômico. Botanicamente, a cana-de-açúcar está madura após a emissão de flores e a formação de sementes. Normalmente, a cana-de-açúcar atinge a maturação botânica antes da fisiológica. Fisiologicamente, a maturação é alcançada quando os colmos atingem o seu potencial de máximo armazenamento de sacarose, acima de um valor mínimo pré-estabelecido, conceito que se aproxima do critério econômico, em que se considera a cana madura, ou em condições de ser industrializada (Deuber, 1988).

Na região Sudeste do Brasil, segundo Carlin (2005), o processo de maturação da cana-de-açúcar ocorre naturalmente no início do mês de maio, atingindo seu clímax no mês de outubro. As condições climáticas aí existentes, com gradativa queda da temperatura e diminuição das precipitações, até seca total no meio do ano, são as determinantes neste processo.

No processo de maturação, considera-se que a queda na temperatura tenha importância fundamental, sendo responsável pela redução do ritmo vegetativo e pelo acúmulo de sacarose nos colmos. Quando não ocorre a redução da temperatura, necessariamente, deve ocorrer uma seca moderada para ocasionar a redução da elongação do internódio, resultando no aumento do teor de sacarose nos colmos (SCARPARI, 2007).

## **2. CONDICIONANTES AGROMETEOEROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE**

### **2.1 Disponibilidade hídrica**

Como observado na descrição das fases fenológicas da cana-de-açúcar, a variação dos eventos, ao longo do desenvolvimento da cultura, implica em consumo hídrico diferenciado entre os estádios de desenvolvimento. A perda de água pela cultura, durante seu ciclo vegetativo, é função da área foliar, do estágio fenológico e da densidade do sistema radicular.

Um conceito interessante é explorado por Fauconier & Bassereau (1970) ao analisar um canavial produzindo 100 t de colmos por hectare, com fornecimento de cerca de 1500 mm de água, ao longo do ciclo, como chuva ou irrigação, recebendo 15.000 t de água ha<sup>-1</sup>. Sabendo-se que a quantidade de água contida em 100 t de colmos varia entre 75 e 85 toneladas (umidade do colmo de 75% a 85%), pode-se concluir que, para cada 150kg ou 200kg de água transpirada pelo canavial, cerca de 1kg de matéria seca é sintetizada pela cultura.

Sobre o consumo hídrico da cana-de-açúcar, vários autores têm procurado determinar as necessidades hídricas da cultura, mas os resultados diferem significativamente, consoante os métodos de cálculo e as condições do experimento. Neste sentido, Perez (1988) apresenta uma revisão (Tabela 1) de valores referentes ao consumo hídrico da cana-de-açúcar, variando de 2,3 mm dia<sup>-1</sup> até 7,8 mm dia<sup>-1</sup>, dependendo das condições do tempo, da variedade e da fase fenológica.

Dada a grande variabilidade nas taxas de consumo hídrico, Santos (2005) organizou os valores do coeficiente de cultura, Kc, para a cana-de-açúcar, disponíveis na literatura (Tabela 2 a 6), mostrando a variabilidade de resultados e as diferenças na definição das fases fenológicas. De modo geral, pode-se estabelecer, contudo, que os valores de Kc variam entre 0,50 e 1,00, entre as fases de emergência e estabelecimento, oscilando entre 1,20 e 1,30, durante a fase de desenvolvimento da cultura, caindo para a faixa entre 0,8 e 0,9, na maturação. INMAN-BAMBER & McGIINCHEY (2003) determinaram o Kc para a cultura da cana-de-açúcar utilizando o método da razão de Bowen, obtendo Kc = 1,25, para a fase de desenvolvimento da cultura, valor próximo ao recomendado por ALLEN et al. (1998).

**Tabela 1. Consumo hídrico da cana-de-açúcar, em diferentes regiões do mundo.**

Ciclo	Consumo de água (mm dia <sup>-1</sup> )			Local	Referência
	Mínimo	Médio	Máximo		
Planta	4,1	5,7	8,6	EUA (Havai)	Campbell et al. (1959)
Planta	2,3	--	6,1	África do Sul	Thompson et al. (1963)
Planta	1,8	3,7	5,7	África do Sul	Thompson (1965)
Planta e Soca	2,2	4,8	7,7	Taiwan	Chang & Wang (1968)
Planta	2,5	3,9	6,6	África do Sul	Thompson & Boyce (1971)
Planta	1,5	3,1	4,6	Filipinas	Early & Gregório (1974)
Planta e Soca	3,4	4,4	5,1	Argentina	Fogilata (1974)
1ª Soca	2,5	3,9	7,8	África do Sul	Thompson (1976)
2ª Soca	1,8	3,6	5,9	África do Sul	Thompson (1976)
Planta e Soca	1,3	3,4	6,8	EUA (Flórida)	Shih & Gascho (1980)
Planta	0,5	2,5	6,0	Brasil	Barbieri (1981)
Planta	--	2,3	--	Taiwan	Chang et al. (1983)
1ª Soca	--	3,1	--	Taiwan	Chang et al. (1983)
2ª Soca	--	3,1	--	Taiwan	Chang et al. (1983)
Planta	2,7	3,3	3,7	Colômbia	Yang et al. (1985)
1ª Soca	3,2	3,6	4,0	Colômbia	Yang et al. (1985)
Média Geral	2,3	3,6	6,1		

Fonte: Peres (1988)

**Tabela 2. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar, segundo a FAO (1977; 1979)**

Idade da cultura (meses)		Estádio de desenvolvimento	Kc		
Cana-planta	Cana-soca		Mínimo	Médio	Máximo
0 -- 2	0 -- 1	Do plantio até 0,25 de cobertura	0,40	0,50	0,60
2 -- 3	1 -- 2	De 0,25 a 0,5 de cobertura	0,75	0,80	0,85
3 -- 4	2 -- 3	De 0,5 a 0,75 de cobertura	0,90	0,95	1,00
4 -- 7	3 -- 4	De 0,75 a coberuta completa	1,00	1,10	1,20
7 -- 14	4 -- 9	Utilização máxima	1,05	1,20	1,30
14 -- 16	9 -- 10	Início da maturação	0,80	0,95	1,05
16 -- 18	10 -- 12	Maturação	0,60	0,70	0,75

Fonte: FAO (1977; 1979)

**Tabela 3. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar, segundo Barbieri (1981).**

Idade da cana-planta (meses)	Kc		
	Método de Penman	Método da Radiação	Método do Tanque Classe "A"
0 -- 2	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,12 - 0,25
2 -- 3	0,2 – 0,4	0,2 – 0,4	0,25 - 0,53
3 -- 4	0,4 – 0,6	0,4 – 0,55	0,53 - 0,75
4 -- 7	0,6 – 1,5	0,55 – 0,96	0,75 - 1,47
7 -- 11	1,5 – 0,96	0,96 – 0,77	1,41 - 0,87

**Tabela 4. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar, segundo Doorenbos e Kassam (1994)**

Período de desenvolvimento	Dias do ciclo	Kc
Do plantio até 0,25 de cobertura	30 - 60	0,40 a 0,60
De 0,25 a 0,5 de cobertura	30 - 40	0,75 a 0,85
De 0,5 a 0,75 de cobertura	15 - 25	0,90 a 1,00
De 0,75 à coberuta completa	45 - 55	1,00 a 1,20
Utilização máxima	180 - 330	1,05 a 1,30
Início da maturação	30 - 150	0,80 a 1,05
Maturação	30 - 60	0,60 a 0,75

**Tabela 5. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar, segundo Doorenbos e Pruitt (1975).**

Tabela 11 - Valores de Kc para cana-soca		
Idade da cana (meses)	Estádio de desenvolvimento da cultura	Kc
0 - 1	Do plantio até 25% de cobertura do solo	0,55
1 - 2	De 25 a 50% de cobertura do solo	0,80
2 - 2,5	De 50 a 75% de cobertura do solo	0,90
2,5 - 4	De 75 a 100% de cobertura do solo	1,00
4 - 10	Cobertura total do solo	1,05
10 - 11	Início da maturação	0,80
11 - 12	Maturação	0,60

**Tabela 6. Valores de Coeficiente da cultura (Kc) para cana planta, segundo Peres (1988).**

Estádio	Idade cana-planta (dias)	(Kc)		
		Método de Penman	Método do Tanque Classe "A"	Método de Thornthwaite
PID <sup>1</sup>	0 - 100	0,41	0,39	0,59
PMD <sup>2</sup>	101 - 350	0,73	0,80	0,93
PM <sup>3</sup>	351 - 489	0,78	0,71	0,94

<sup>1</sup> PID é o período inicial de desenvolvimento, <sup>2</sup>PMD é o período de máximo desenvolvimento e <sup>3</sup>PM refere-se ao período de maturação.

Segundo Shaw & Innes (1965), a cana-de-açúcar responde mais à irrigação quando a suplementação é feita no primeiro terço do ciclo, indicando a maior exigência de água durante o período de crescimento. De modo geral, Santos (2005) postula que o consumo de água da cultura da cana-de-açúcar varia em função do ciclo (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento, das condições climáticas, da água disponível no solo e das variedades.

Doorenbos & Kassan (1979) sugerem que o fator de resposta a deficiência hídrica (ky) é igual a 0,75 nas fases de emergência e estabelecimento, caindo para 0,5 durante a fase de desenvolvimento da cultura, atingindo apenas 0,1 durante a maturação. Simulações feitas para variedades, no Brasil, indicam que estes valores parecem baixos para as condições brasileiras, notadamente na fase de desenvolvimento da cultura, e que a metodologia proposta por Doorenbos & Kassan (1979), para o cálculo do efeito do estresse hídrico sobre o rendimento da cultura, não parece adequada para as culturas que formam o produto de interesse econômico durante a fase vegetativa, como é o caso da cana-de-açúcar. Para culturas em que a parte econômica é formada a partir de florescimento, a abordagem de Doorenbos e Kassan (1979) tem se mostrado mais confiável, como tem sido observado para soja, milho, girassol e amendoim.

## 2.2 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes na produção da cana-de-açúcar, havendo um grande número de publicações sugerindo limites térmicos para a cultura. De modo geral, pode-se admitir que a cana apresente queda expressiva na taxa de crescimento sempre que a temperatura do ar cai abaixo de 20°C e, contrariamente, taxas máximas quando submetida a temperaturas entre 30°C e 34°C, passando a ocorrer estresse térmico sob condições de temperatura acima dos 35°C, com crescimento praticamente nulo, acima dos 38°C. Considera-se, também, que o crescimento da cana-de-açúcar estaciona ou torna-se praticamente nulo quando a temperatura do ar é inferior a valores entre 16°C e 18°C, (BARBIERI; VILLA NOVA, 1977; DOOREMBOS; KASSAN, 1979; MAGALHÃES, 1987; BARBIERI et al., 1979).

Fauconier & Bassereau (1970) enfatizam que a atividade fotossintética aumenta sob condições de 23°C a 32°C, caindo a partir deste ponto. A respiração da espécie é máxima entre 36°C e 38°C, donde resulta que, acima de 33°C, o ganho de matéria seca tende a baixar até um ponto em que se torna praticamente nulo, com temperaturas próximas de 38°C.

Segundo Fauconier & Bassereau (1970), é difícil determinar com exatidão a temperatura-base, ou seja, a temperatura abaixo da qual não há crescimento vegetativo, embora alguns autores relatem que, sob temperaturas menores que 16°C, não há desenvolvimento vegetativo na espécie.

A temperatura do ar tem relação direta com a brotação das gemas da cana-planta, sendo a faixa ideal de temperatura, para a brotação, entre 34°C e 37°C e, os extremos 21°C e 44°C, limitantes para a brotação das gemas (NICKELL, 1977). A temperatura crítica do solo, para a brotação, é de 19°C, sendo que temperaturas menores que 10°C são muito prejudiciais à brotação. Adicionalmente, a temperatura de 10°C é danosa para o crescimento das raízes e brotos (CAMARGO, 1976).

Na fase de emergência, considera-se temperatura ótima na faixa dos 32°C, considerando o limite de 21°C como a temperatura-base (BARBIERI et al., 1979), devendo-se atentar para esta característica, principalmente nos plantios realizados nos períodos mais frios do ano, como é o caso dos plantios de inverno, utilizados mais recentemente.

Durante o processo de perfilhamento, a cultura é fortemente influenciada pela temperatura, sendo 30°C e 20°C considerados, respectivamente, como limites superior e inferior de tolerância das espécies (ARGETON, 2006). Segundo SUGUITANI (2006), a temperatura ideal para o perfilhamento está entre 27°C e 32°C, sendo que, sob temperaturas abaixo de 5°C e acima de 45°C, o processo é praticamente paralisado.

Na fase de maturação, ao contrário, temperaturas mais baixas auxiliam no processo de concentração da sacarose do colmo, podendo substituir a deficiência hídrica como fator determinante do início do processo. O início da fase de maturação, portanto, pode ser estimulado pela queda da temperatura, sendo que, em regiões onde não há estação seca, é necessário que a temperatura média diária caia abaixo de 21°C para iniciar a fase de maturação, com repouso fisiológico e aumento na concentração de sacarose (CÂMARA, 1993; CAMARGO & ORTOLANI, 1964).

A absorção de água pelas raízes também é dependente da temperatura do solo, com taxas máximas de absorção entre 28°C e 30°C, reduzindo muito sob temperaturas entre 10°C e 15°C (Fauconier & Bassereau, 1970), reforçando a idéia de que a irrigação, durante o inverno, na fase de estabelecimento dos canais, pode não trazer ganhos de produtividade em regiões subtropicais. Paradoxalmente, nestas regiões, irrigações realizadas na primavera ou verão, períodos normalmente mais chuvosos no Brasil, podem ser mais lucrativas.

O desenvolvimento da cana-de-açúcar pode ser monitorado pelo cômputo do número de graus-dia, a partir do plantio ou do corte de uma soqueira, admitindo-se uma determinada temperatura-base. VAN DILLEWIJN (1952), nas Ilhas Maurício, contabilizou o número de graus-dia acima da temperatura-base de 15°C, valor inferior ao computado para a temperatura-base de 21°C. Por outro lado, BACCHI & SOUZA (1978) utilizaram temperatura-base de 19°C para mensurar a altura do colmo. BARNES (1974) encontrou temperatura-base em torno de 12°C, para a fase de germinação, enquanto FERRARIS et al. (1992) sugeriram temperatura-base de 15°C, para determinação dos graus-dias necessários para a emergência das folhas.



Segundo INMAN-BAMBER (1993), o tempo térmico é derivado da acumulação da diferença entre a temperatura média ( $T_{média}$ ) e a temperatura-base ( $T_b$ ) para cada dia, a partir da data de plantio. Em experimentos, para uma temperatura base de  $16^{\circ}\text{C}$ , a máxima densidade de colmos ficou em torno de  $500^{\circ}\text{C d}^{-1}$ , estabilizando-se em torno de  $1200^{\circ}\text{C d}^{-1}$  nos cultivares NCo376 e N12. FERRARIS et al. (1994), em experimentos na Austrália, encontraram o pico de densidade do colmo a partir de  $730^{\circ}\text{C d}^{-1}$ , para uma temperatura base de  $15^{\circ}\text{C}$ , com estabilização em torno de  $1700^{\circ}\text{C d}^{-1}$ . Em seus trabalhos preliminares, INMAN-BAMBER (1991) utilizou  $12^{\circ}\text{C}$  como temperatura basal para o aparecimento de folhas, para a variedade NCo376, e encontrou  $70^{\circ}\text{C d}^{-1}$  por folha, para o aparecimento das primeiras 11 folhas e,  $130^{\circ}\text{C d}^{-1}$  por folha, para as subseqüentes.

Com o propósito de observar a variação espacial da temperatura do ar e suas implicações sobre a cultura da cana-de-açúcar, no Brasil, aplicou-se este conjunto de informações para a elaboração da Figura 2, adotando-se as seguintes classes de temperaturas médias anuais: a) temperatura média anual  $< 18^{\circ}\text{C}$ , com restrição acentuada e alto risco à cultura da cana-de-açúcar para indústria; b) temperatura média anual de  $18^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ , com restrição parcial por carência térmica; c) temperatura média anual  $> 20^{\circ}\text{C}$ , ideal, ótimo ao crescimento da cana-de-açúcar; d) temperatura média anual  $< 14^{\circ}\text{C}$ , limite abaixo do qual a cana-de-açúcar torna-se inviável por carência térmica severa.

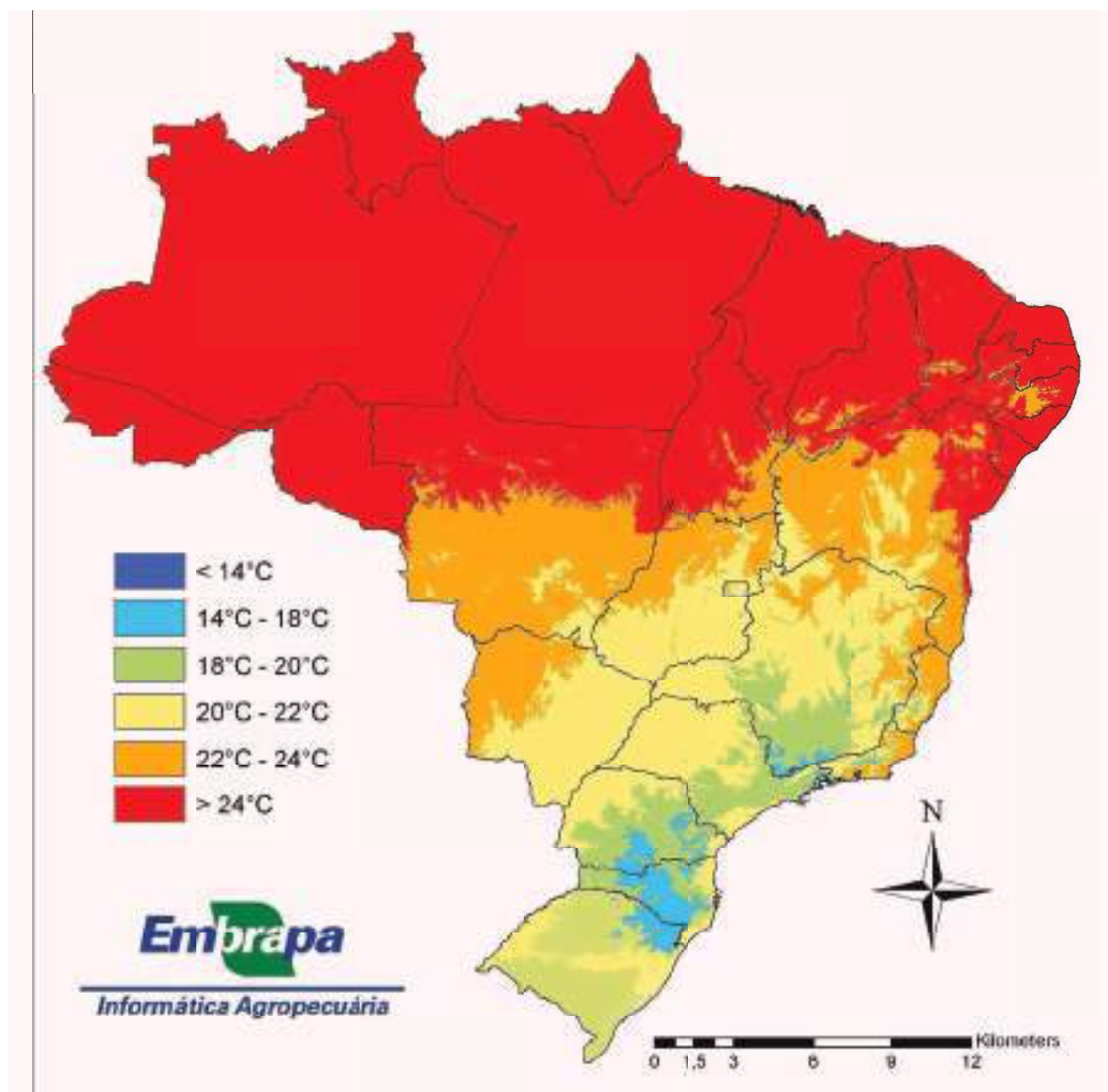


Figura 2. Variação espacial da temperatura do ar, média anual, no Brasil, segundo as exigências térmicas da cana-de-açúcar.

## 2.3 Radiação solar

A cana-de-açúcar é uma espécie com ciclo fotossintético do tipo C4, apresentando alta eficiência de conversão de energia radiante em energia química, quando submetida a condições de elevada temperatura do ar e radiação solar intensa, associadas à elevada disponibilidade de água no solo.

INMAN-BAMBER (1993), na África do Sul, verificou que o tempo, para a primeira soqueira alcançar 70% de interceptação da radiação PAR, é afetado significativamente pela data de plantio. Canaviais plantados no inverno, por exemplo, exigiram de duas a três vezes mais tempo para alcançar a interceptação de 70% da PAR, em relação aos plantados no verão. O autor também verificou que a segunda soqueira conseguiu atingir este patamar de interceptação mais cedo que a primeira, iniciada no mesmo ano e na mesma data.

Segundo Machado (1987), a taxa máxima de fotossíntese da cana-de-açúcar está em torno de 90 mg dm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, com ponto de compensação de CO<sub>2</sub> próximo de 5ppm, sem o fenômeno de saturação luminosa, normalmente observado em plantas com ciclo fotossintético do tipo C3.

Um dos fatores que explicam a absorção de radiação solar por uma cultura é a distribuição do ângulo de inserção das folhas, relação essa que pode ser representada na forma do coeficiente de extinção de radiação solar. Este, por sua vez, é função da arquitetura do dossel e do ângulo zenital do Sol.

Muchow et al. (1994) encontraram valor médio do coeficiente de extinção do dossel da cana-de-açúcar de 0,38 em cultivo na Austrália, o que corresponde a um ângulo médio de inserção de folhas variando entre 67° e 68°, condição próxima àquela observada para as cultivares de milho melhoradas (Campbell & Norman, 1998). Esta característica, por sua vez, tende a elevar a extinção de radiação sob ângulos zenitais maiores, minimizando a absorção de radiação nos momentos mais quentes do dia, quando outros fatores tendem a ser mais restritivos que a radiação.

Além disso, folhas mais eretas, como observadas nos canaviais, permitem o adensamento das plantas, maximizando o rendimento por área e explicando, em parte, os níveis de produtividade observados em condições de campo. Galvani et al. (1997) experimentando esta hipótese, observaram aumento da produtividade nos espaçamentos menores, com elevação no índice de área foliar e, conseqüentemente, acréscimo na taxa de fotossíntese do dossel vegetativo. Os autores concluem também que, uma redução de espaçamento de 1,80m para 0,90m, elevou em 9% a produtividade agrícola, o que equivale a cerca de 9 t de colmos por hectare.

Durante a germinação, não há evidências de que a radiação solar tenha efeito sobre o desenvolvimento das gemas, de modo que a cana pode germinar mesmo na ausência de radiação (Fauconier & Basserau, 1970), enquanto que, na fase de desenvolvimento vegetativo, há diversos eventos dependentes da radiação. O perfilhamento, por exemplo, é favorecido pela radiação solar intensa.

Com o desenvolvimento foliar, a extinção de radiação na folhagem torna-se mais intensa e a competição por luz se acentua, exigindo um reequilíbrio entre a quantidade de energia radiante recebida e o número de perfilhos que poderão sobreviver. Assim, na fase em que o dossel da cana-de-açúcar começa a cobrir totalmente o solo, perde-se grande parte dos perfilhos jovens, justamente por limitação de radiação solar.

Segundo Fauconier & Basserau (1975), canaviais cultivados em regiões com radiação solar intensa têm maior área foliar, folhas mais espessas e verdes, raízes mais desenvolvidas, tendendo a acumular mais matéria seca (açúcar e fibras) em detrimento da quantidade de água.

Em regiões tropicais e subtropicais, em particular, a cana-de-açúcar mostra crescimento muito vigoroso no início do verão, durante os dias mais longos e, especialmente, após as chuvas de verão que ocorrem no meio do dia, quando o céu se abre e a radiação solar intensifica. Nestas ocasiões, associam-se todas as condições requeridas para altas taxas de crescimento, isto é, elevada disponibilidade de água no solo, temperatura elevada e radiação solar intensa.

## 2.4 Fotoperíodo

Como mencionado na fenologia, o fotoperíodo exerce papel fundamental na indução do florescimento da cana-de-açúcar. O fotoperíodo também influi fortemente sobre o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, explicando a variação no diâmetro e na alongação do colmo, que aumentam com fotoperíodos de 10 a 14 horas, mas reduzem-se quando o fotoperíodo ultrapassa 16 horas (Rodrigues, 1985).

## 2.5 Vento

O vento é um elemento meteorológico diferente dos demais, por se tratar de uma grandeza vetorial, para a qual são necessárias duas informações para sua adequada caracterização – velocidade e direção. Denomina-se vento à componente horizontal do vetor velocidade do ar, já que as massas de ar podem se deslocar também verticalmente. Tanto a velocidade quanto a direção do vento são grandezas instantâneas e pontuais, com grande variação espaço-temporal.

Nos canaviais, o vento também exerce influência na produtividade, interferindo nas trocas gasosas entre a cobertura e a vegetação, seja elevando a transpiração das plantas, consequência da queda na resistência aerodinâmica ao transporte de vapor e CO<sub>2</sub>, seja favorecendo a assimilação de CO<sub>2</sub>, resultado da renovação das camadas de ar que envolvem o dossel.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo

De acordo com Cardoso et al. (2004), o granizo é um tipo de precipitação que se origina de nuvens convectivas e que se precipita sob a forma de pedras de gelo, em formato irregular. Sua ocorrência está normalmente associada à ocorrência de nuvens com grande desenvolvimento vertical e com frentes frias, tornando-se mais frequente nas regiões situadas entre as latitudes 20° a 55°, e mais raras sobre o oceano e na zona equatorial.

Os danos causados pelo granizo são função do tamanho da área atingida, da densidade de pedras de gelo ao nível do solo e da força dos ventos próximos à superfície. Na agricultura, a maior preocupação com o granizo ocorre nas áreas de produção de frutas, legumes e verduras, onde, além da perda de produtividade, também há perda de receita decorrente da queda na qualidade do produto.

Na cana-de-açúcar, o granizo tem como efeito principal a redução da área foliar fotossintetizante, com risco de queda na produtividade quando ocorre nas fases iniciais de desenvolvimento. No final da fase de desenvolvimento vegetativo, ou mesmo na fase de maturação, estima-se que a redução do potencial produtivo, em decorrência da queda na área fotossintetizante, seja pequena, dado o elevado índice de área foliar observado em canaviais adultos.

Em eventos extremos, quando a área já entrou em fase de maturação, pode haver necessidade de antecipação da colheita do canavial para evitar perda de rendimento industrial decorrente da remobilização da sacarose armazenada no colmo.

### 3.2 Seca e veranico

Quando a demanda hídrica da cultura não é atendida durante a fase de desenvolvimento da cultura, inicia-se o processo de estresse hídrico, com perdas de rendimento no final do ciclo. O estresse hídrico é uma ocorrência comum em todos os tipos de culturas, incluindo a cana-de-açúcar. Um bom entendimento da resposta da cultura ao estresse hídrico é a condição prévia para escolher a melhor cultivar e as práticas de gestão apropriadas, visando explorar ao máximo os recursos naturais. Por isso, no planejamento do plantio e da colheita é necessário adequar os períodos de estresse hídrico, de tal forma que o mesmo seja mínimo durante as fases críticas do crescimento da cultura (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

Sob condições de deficiência hídrica, há, também, redução na translocação de fotoassimilados para a região apical e para as raízes (MACHADO, 1987) de modo que, segundo HUBERT (1968), a umidade do solo constitui-se num dos principais fatores que condicionam o início da maturação da cana-de-açúcar.

Segundo WIEDENFELD (2000), déficits hídricos provocam a redução da área foliar e do acúmulo de biomassa, com consequente redução na produção final de colmos. De acordo com INMAN-BAMBER (2004), o acúmulo de biomassa reduz-se com déficits hídricos superiores a 120 mm por ano, enquanto o acúmulo de sacarose no colmo é afetado a partir de déficits acima de 145 mm anuais.

Durante a fase de estabelecimento, a deficiência hídrica afeta o desenvolvimento da cana-de-açúcar,

com redução da área foliar, mas sem refletir, necessariamente, na perda de produtividade. ROBERTSON et al. (1999a), em plantio de inverno na Austrália, mostraram que a supressão da irrigação, durante a fase inicial da cultura, reduziu o índice de área foliar de 1,8 (na testemunha) para 0,9, mas sem comprometer o rendimento, em termos de massa de colmos e concentração de sacarose. Com isso, os autores enfatizam a possibilidade de redução de custos e de impactos ambientais, reduzindo as lâminas de irrigação, sem perda de produtividade, enquanto a cultura mantém  $IAF < 2$ .

Durante o desenvolvimento, contudo, o estresse hídrico pode comprometer a formação do colmo e a produção de sacarose, de maneira expressiva, devido à redução na absorção da radiação solar e à interferência na partição dos fotoassimilados para os diferentes órgãos da planta.

Segundo Ramesh (2000), as fases de estabelecimento e desenvolvimento da cultura são as mais sensíveis à deficiência hídrica, sendo também as que apresentam a maior demanda por água. INMAN-BAMBER et al. (1999), por sua vez, afirmam que a irrigação é indicada quando a taxa de crescimento do colmo cai a 50% do valor potencial nesta fase, assegurando produtividades elevadas. Ainda de acordo com INMAN-BAMBER (2004), a cana-de-açúcar pode tolerar estresse hídrico maior que isto, obtendo altos rendimentos, quando a irrigação for manejada de modo a elevar a umidade do solo, no momento em que a taxa de crescimento do colmo cair a 30% do valor potencial.

INMAN-BAMBER (2004) afirma ainda que o comprimento do colmo e da folha pode ser um indicador do estresse hídrico, embora o método mais simples envolva a contagem de folhas verdes para avaliar quando o processo de senescência inicia-se. Neste processo, a perda rápida de folhas por colmo ocorre ao mesmo tempo ou, mesmo, antes que a acumulação de biomassa seja reduzida pelo estresse hídrico.

Na cana-de-açúcar, a síntese da sacarose ocorre predominantemente nas folhas, sendo transportada até o colmo e distribuída lateralmente, por difusão, através da parede celular, para as células do parênquima. Sob condição de estresse hídrico, a atividade das enzimas foliares é reduzida, favorecendo a liberação de outras enzimas que atuam no processo de acúmulo de teor de açúcar nos colmos (MACHADO, 1987).

Experimentos realizados na África do Sul mostraram que secas prolongadas, durante a fase de maturação, podem causar redução na produtividade de colmos, mas, em contrapartida, podem aumentar a concentração de sacarose entre 0,5 e 2,5 t ha<sup>-1</sup>, o que, em alguns casos, pode até ser vantajoso sob o ponto de vista produtivo (INMAN-BAMBER & JAGER, 1988; INMAN-BAMBER (2004). Com base nessas evidências, KEATING et al. (1999a) utilizaram o modelo “APSIM-Sugarcane” para simular melhores períodos para suspensão da irrigação, em vários tipos de solos, climas e datas de colheita, observando perdas de rendimentos entre 4 a 8%, mas com ganhos de até 3,6 t de sacarose ha<sup>-1</sup>.

### 3.3 Vento intenso

Um fator associado a ventos fortes e que influi sobre a cultura é o tombamento - ou acamamento - das plantas, que pode ser consequência de características varietais, deficiência nutricional e desenvolvimento vegetativo vigoroso, que resultam em excesso de massa sobre os colmos, ou mesmo por fenômenos ambientais (AMAYA et al., 2000), representados especialmente pelos ventos fortes.

Segundo Carlin (2005), colmos tombados são aqueles deslocados mais de 60 a 70° da vertical. Este fenômeno vem ganhando importância com o avanço da colheita mecanizada, uma vez que o tombamento pode acarretar perdas expressivas ao sistema de produção. Ao contrário, a resistência ao tombamento pode ser definida como a capacidade da planta em permanecer ereta durante seu ciclo de vida, até o momento da colheita.

Assim, regiões com incidência de ventos fortes têm maior propensão para a ocorrência do tombamento, especialmente nos períodos em que os canaviais estão plenamente desenvolvidos. Segundo Carlin (2008), o tombamento pode levar à queda de qualidade da matéria-prima colhida, devido, principalmente, ao surgimento de brotões após o acamamento dos colmos principais, com comportamento similar ao de uma cana jovem. Os brotões, por sua vez, apresentam caules de maior diâmetro, folhas mais largas e, normalmente, têm menor teor de sacarose, em comparação com os colmos principais (BERDING et al., 2005). Segundo SINGH et al. (2000), estudando variedades

australianas, o tombamento representa queda na produtividade de colmos entre 10% e 20%. Níveis similares foram obtidos por SILVA e CAPUTO (2005), trabalhando no Brasil.

### 3.4 Geadas

Segundo Fauconier & Basserau (1970), folhas jovens e gemas são as partes mais sensíveis ao frio, na planta de cana-de-açúcar, sofrendo efeitos danosos sempre que a temperatura cai abaixo de 0°C, por um curto período de tempo. A extensão do dano, contudo, é função do tempo em que a folha fica exposta ao frio, da temperatura mínima atingida, da variedade e da fase da cultura. Segundo os autores, canaviais mais desenvolvidos, irrigados, e que alcançam altas produtividades, normalmente, resistem melhor à geada.

A cultura da cana-de-açúcar é susceptível a baixas temperaturas, destacando-se que temperaturas inferiores aos 18°C praticamente já paralisam o crescimento das plantas. Nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, além de algumas áreas da Região Sudeste, sujeitas à ocorrência de geada esporádicas, é necessária a adoção de medidas preventivas adequadas para minimizar ou evitar o efeito desse evento climático, ou mesmo, deve-se evitar o uso da cultura, já que nas áreas onde as geadas ocorrem com muita frequência a exploração canavieira pode tornar-se economicamente inviável.

As partes jovens e menos protegidas da cana-de-açúcar, tal como folhas jovens, gemas apicais e gemas laterais jovens se congelam sob temperaturas inferiores a 0°C. Os danos causados dependem tanto da temperatura mínima atingida quanto da duração do evento anômalo de baixa temperatura, variando de acordo com a variedade e o estado de cultivo. De forma geral, pode-se afirmar que a gema apical morre quando submetida a temperaturas superiores às exigidas para a sobrevivência das gemas laterais. A morte da gema apical ocorre quando a temperatura atinge níveis entre -1°C a -3,3°C, enquanto as laterais morrem em torno de -6°C, condições em que as temperaturas letais às folhas da cana-de-açúcar acham-se em torno de -2,5°C a -5°C (BACCHI & SOUZA, 1978; BRINHOLI, 1978).

No caso de geadas de forte intensidade, há morte das gemas do caule, sendo o dano mais intenso quanto maior for o número de gemas atingidas, já que a morte das gemas pode resultar em invasão por patógenos, com queda na sacarose e em sua pureza, além do aumento da acidez.

Na grande prática, não existem ações preventivas eficazes contra a geada em larga escala, restando apenas o uso de variedades resistentes e precoces, para que o corte ocorra antes do período de maior incidência do fenômeno.

Normalmente, após a geada, antecipa-se o corte, com o intuito de minimizar as perdas, em termos de concentração de sacarose no colmo, enquanto os canaviais mais jovens são deixados no campo para que novas brotações se desenvolvam, em substituição aos colmos atingidos pelo frio intenso.

Relacionando a ocorrência de geada com valores de temperatura mínima registradas em abrigo meteorológico, pesquisadores observaram que há uma diferença de temperatura, de 3 a 4°C, entre o abrigo situado a 1,5m da superfície, e a relva, ao nível do solo (GRODZKI et al., 1996; Silva e Sentelhas, 2001; Sentelhas et al., 1995). Assim, quando se registra temperatura mínima, no abrigo, em torno dos 2°C, no nível da relva, os valores se aproximam de -1°C, capazes de causar danos à cana-de-açúcar, não sendo necessário que ocorra o congelamento da água para que haja dano às partes vegetais.

Os danos provocados dependem também do tempo em que a temperatura mínima permanece abaixo do valor crítico e do estágio em que se encontra a planta no momento da geada (PARANHOS, 1987). As partes novas são mais sensíveis, principalmente as gemas e as folhas, que se danificam com temperaturas inferiores a 3°C. As folhas novas, que saem do ápice do colmo, secam e apodrecem quando a temperatura cai e permanece abaixo de 3,9°C (IRVINE, 1968), enquanto as gemas, que resistem ao frio mais que as folhas, toleram até 0°C (BACCHI et al., 1980; BRINHOLI, 1978).

Para delimitar as áreas com risco de geada para cana-de-açúcar, uma opção foi apresentada por WREGG et al. (2005), utilizando séries de dados diários de temperatura mínima do ar, admitindo-se a ocorrência de geadas sempre que a temperatura mínima medida no abrigo meteorológico seja inferior a 3°C. A Figura 3 foi elaborada com base nesta metodologia, utilizando-se um algoritmo para análise da frequência da série de dados de cada estação, indicando a probabilidade de ocorrência de pelo menos

uma geada por decêndio. Na análise dos dados, usou-se uma janela móvel de dez dias ao longo da série, com passo diário (dias 1 a 10 julho, 2 a 11 julho, 3 a 12 julho, etc.), ao longo de todo o ano.

Na Figura 3, pode-se observar que os riscos de geadas para cana-de-açúcar são maiores na Região Sul, dificultando o cultivo e exigindo um manejo específico da cultura para torná-la economicamente viável. Tais circunstâncias, no entanto, não têm inviabilizado a cultura da cana nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, embora elevem o custo de produção em comparação com regiões onde o risco é baixo.

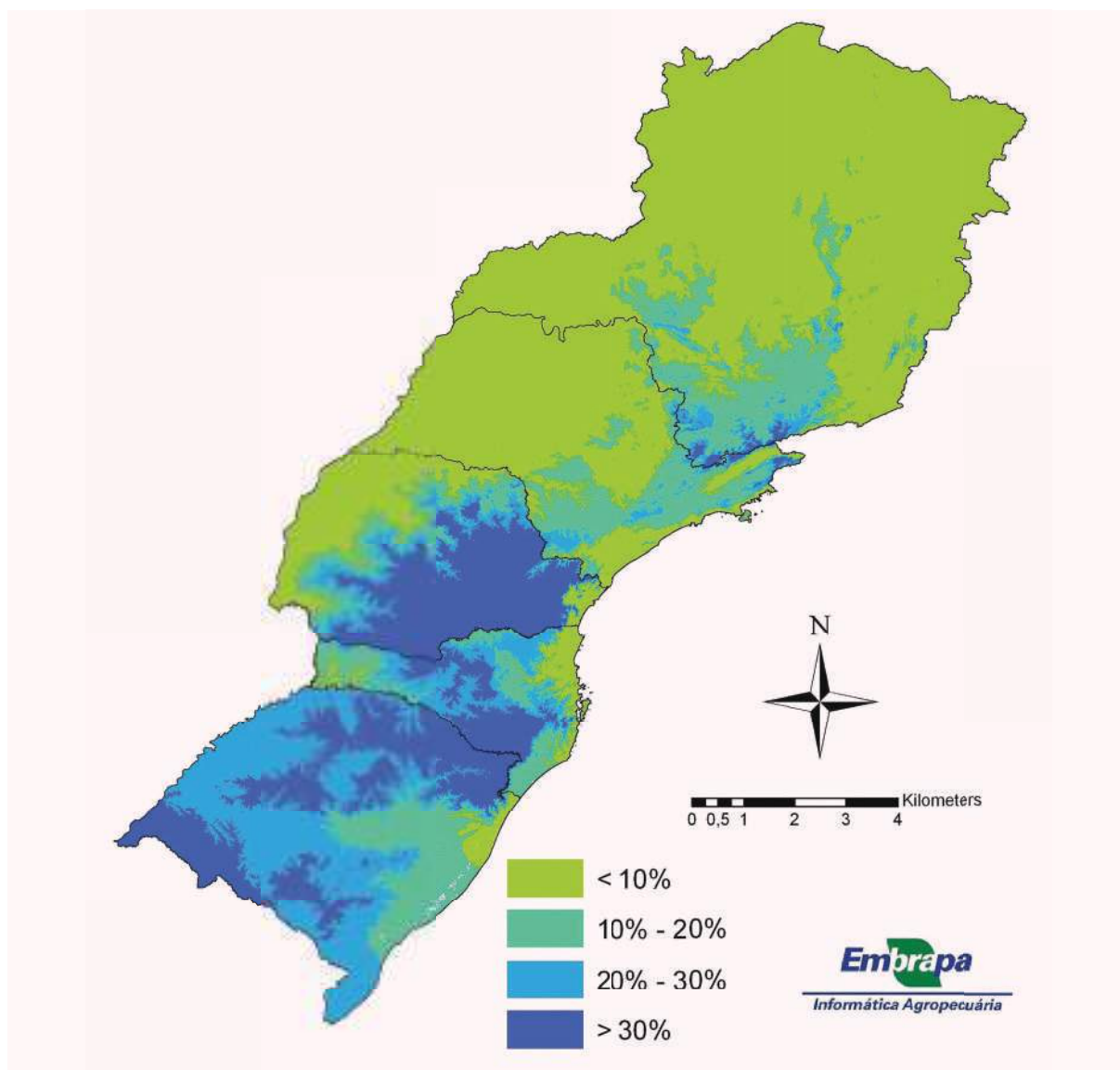


Figura 3. Variação espacial do risco de geadas nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais.

### 3.5 Chuva excessiva e, ou, excesso hídrico prolongado

Efeitos negativos de chuvas intensas e excesso hídrico prolongado não são comumente observados na maioria das áreas tradicionalmente ocupadas por canaviais no Brasil. No entanto, um dos efeitos que podem ser observados, em decorrência destes fenômenos, é o encharcamento do solo, criando condições anaeróbicas para o sistema radicular, especialmente em solos mal drenados ou com lençol freático muito elevado. Nessas condições, apesar da carência de estudos sobre o tema, observa-se redução expressiva no vigor das brotações, na produção de colmos e na concentração de sacarose (Gilbert et al. 2008).

Parte das áreas produtoras de cana-de-açúcar do Nordeste do Brasil pode sujeitar-se aos efeitos dos alagamentos, causados por chuvas prolongadas ou pela elevação do nível dos cursos d'água. Nessas áreas, é importante que o manejo das soqueiras seja feito adequadamente. Sugere-se, nesses casos, que durante o período de alagamento dos canaviais, as socas já apresentem certa altura, minimizando os efeitos da condição anaeróbica.

### 3.6 Chuva na Colheita

A chuva na colheita tem impacto direto no planejamento operacional das usinas de cana-de-açúcar, uma vez que o corte e o transporte da cana são prejudicados. Além da paralisação ou da maior lentidão dos trabalhos de campos sob chuva, a elevação da umidade do solo, durante os períodos em que o tráfego de máquinas é intenso sobre o canavial, pode provocar intensa compactação do solo, com possível redução na produtividade. Esta tem sido a principal razão para o decréscimo de produtividade, normalmente observado nas soqueiras de cana-de-açúcar, em comparação com a produtividade alcançada pela cana-planta.

Sob condições de maior umidade, o tráfego de máquinas acentua o adensamento do solo, reduzindo a quantidade de macroporos e a aeração do solo. Isto, contudo, não implica em redução na capacidade de retenção de água, mas sim, em queda no potencial de água no solo e maior dificuldade para sua extração, por parte das plantas, resultado do aumento de microporos ao longo do processo e, conseqüentemente, do aumento da energia com que a água é retida na matriz do solo.

Outro aspecto que merece menção é que, em sistemas que utilizam o fogo como estratégia de manejo, os efeitos negativos da chuva sobre a qualidade do solo, durante a colheita, são mais pronunciados do que aqueles observados em sistemas de colheita sem queima, em geral, mecânica. Isto ocorre porque o fogo favorece a exposição do solo à chuva e ao tráfego, com redução do diâmetro médio dos agregados, aumento da densidade nas camadas mais superficiais e diminuição da velocidade de infiltração da água (CEDDIA et al., 1999).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R. et al. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ARANHA, C.; YAHN, C. A. Botânica da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.) **Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 3-13.

ARGENTON, P. E. **Influências das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Piracicaba, São Paulo**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BACCHI, O. O. S.; FERRARI, S. E.; ROLIM, V. C. **Acompanhamento do estado de maturação da cana-de-açúcar submetida à geada e deterioração após o fenômeno**. Araras: IAA/PLANALSUCAR; Consul, 1980. (Mimeografado).

BACCHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. Minimum threshold temperature for sugar cane growth. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1., 1978, London. **Anais...** London: ISSCT, 1978. v. 2, p. 1733-1741.

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico na cana-de-açúcar (*saccharum spp.*)**. 1981. 82 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentos)–Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BARBIERI, V.; MANIERO, M. A.; MATSUOKA, S. O florescimento da cana-de-açúcar e suas implicações no manejo agrícola. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 3., 1984, São Paulo. **Anais...** [S.l.: s.n. 1984?]. p. 273-276.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Climatologia e a cana-de-açúcar. In: PLANALSUCAR, COORDENADORIA REGIONAL SUL. COSUL. Araras. 1977. p.1-22.

BARNES, A. C. **The sugarcane**. 2. ed. London: Hill Books, 1974. 572 p.

BELTRAME, J. A. Novas variedades comerciais para a região centro-sul. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2005. Disponível em: < [http://www.ppi-far.org/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/d03bb114794bf3a9032570d8004b8018/\\$FILE/Anais%20Joao%20Americo%20Beltrame.pdf](http://www.ppi-far.org/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/d03bb114794bf3a9032570d8004b8018/$FILE/Anais%20Joao%20Americo%20Beltrame.pdf) >. Acesso em: 20 mar. 2009.

BERDING, N.; HOGARTH, M.; COX, M. Plant improvement of sugarcane. In: JAMES, G. **Sugarcane**. 2. ed. Oxford: Blackwell Science, 2004. 216 p.

BERDING, N.; HURNEY, A. P. Flowering and lodging, physiological-based traits affecting cane and sugar yield. What do we know oh their control mechanisms and how do we manage them? **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 261-275, 2005.

BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987.

- BLACKBURN, F. **Sugar-cane**. New York : Longman, 1984. 414 p.
- BRETT, P. G. C. Flowering and pollen fertility in relation to sugarcane breeding in Natal. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1951. **Proceedings...** London: ISSCT, 1951. v. 7, p. 43-46.
- BRINHOLI, O. **Resistência ao frio de diferentes variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1978, 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- BULL, T. A.; GLASZIOU, K. T. Sugar cane. In: EVANS, L. T. (Ed.). **Crop physiology**: Some case histories. Cambridge University Press, 1975. cap. 3, p. 51-72.
- CAMARA, G. M. S.; OLIVEIRA E. A. M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993.
- CAMARGO, A. P. et al. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas de cerrado. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: [s.n.], 1976. p. 89-105.
- CANABRAVA, A. P. **História econômica**: estudos e pesquisas. São Paulo: Unesp, 2005. 320 p.
- CARDOSO, N. K. R.; LIMA, F. U. F.; ASSIS, S. V. Análise da distribuição de Poisson para a ocorrência de granizo na região de Pelotas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 628-632. (CD-ROM).
- CARLIN, S. D. **Impacto do tombamento na produtividade de diferentes cultivares de cana-de-açúcar**. 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)-Instituto Agrônomo de Campinas.
- CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 845-853, 2008.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.
- CEDDIA, M. B. et al. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 1467-1473, 1999.
- DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (DIEESE). Desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro e os trabalhadores. **Estudos e Pesquisa**, São Paulo, v. 3, n. 30, 2007.
- DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na Região Sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1988. p. 33-40.
- DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica 1952. 371 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1994. 212 p. (Estudos FAO: irrigação e drenagem, 33).
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179 p. (Irrigation and drainage paper, 24).
- EVANS, H. The root-system of the sugar-cane: II. Some typical root-systems. **Empire Journal of Experimental Agriculture**, Oxford, v. 4, p. 208-221, 1936.
- KASSAM; Amir; SMITH, Martin. FAO methodologies on crop water use and crop water productivity. In: EXPERT MEETING ON CROP WATER PRODUCTIVITY, 2001, Rome. **[Papers...]**. [Rome: FAO, 2001?]. (Paper no. CWP-M07). Disponível em: <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/docs/method.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2009.
- FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La canne à sucre**. Paris: Ed. Maisonneuve et Larose, 1970. (Collection techniques agricoles et productions tropicales).
- FERRARIS, R.; CHAPMAN, L. S.; LUDLOW, M. M. Responses of canopy growth of sugar cane to temperature and water supply. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 21. 1992, Bangkok, Thailand. **Proceedings...** Bangkok, Thailand, March 1992.
- GASHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane in crop water relations. In: TEARE, I.D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop water relations**. New York: John Wiley, 1983. p. 445-479.
- GILBERT, R. A. et al. Sugarcane growth and yield responses to a three-month summer flood. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 3, p.283-291, 2008.
- GLASZIOU, K. T. et al. Physiology of sugarcane. VII. Effects of temperature, photoperiod, and diurnal and season and season temperature changes on growth and ripening. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v.18, p. 53-66, 1965.
- GRASSL, C. O. The origin of sugarcane. **Sugarcane Breeding News**. [S.l.], v. 34, p. 10-18, 1974.
- GRODZKI, L. et al. Risco de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.
- HUBERT, R. P. **The growing of sugar cane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 719 p.
- HUNSIGI, G. **Sugarcane in agriculture and industry**. Bangalore: Prism Books, 2001. p. 217.
- INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar va. 290, em solo tipo terra-roxa legítima. **Bragantia**, Campinas, v. 16, p. 1-13, 1957.
- INMAN-BAMBER, N. G. A growth model for sugarcane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 8, n. 2, p. 93-99, 1991.
- INMAN-BAMBER, N. G. et al. Boosting yields with limited irrigation water. **Proceedings of the Australian Society Sugar Cane Technologists**, [S.l.], v. 21, p. 203-211, 1999.
- INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p.107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and season effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 41 - 51, 1994.
- INMAN-BAMBER, N. G., DE JAGER, J. M. Effect of water stress on sugarcane stalk growth and quality. In: ANNUAL CONGRESS SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS ASSOCIATION. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1988. v. 52, p.140-144.
- INMAN-BAMBER, N. G.; MCGLINCHEY, M. G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, n. 2, p. 125-138, 2003.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.
- IRVINE, J. E. **Screening sugarcane populations for cold tolerance by artificial freezing**. **Crop Science**, Madison, v. 8, p. 637-638, 1968.
- JAMES, G. Introduction to sugarcane. In: JAMES, G. **Sugarcane**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2003. p. 1-19.
- KEATING, B. A. Modelling sugarcane production systems. I. Description and validation of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61 p. 253-271, 1999.
- KOFFLER, N. F.; DONZELLI, P. L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, Sérgio Bicudo (Coord.). **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap. I, p. 19-35.



LINEU, C. **Species plantarum**: exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas... Holmiae: Impensis Laurentii Salvii, 1753. v. 1. p. 54.

MACHADO, E. C. Fisiologia da produção da cana-de-açúcar: crescimento. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1,

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 56-87.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; TSUIOSHI, Y. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 249 p.

MONTANS NETO, L. H. M. Censo varietal quantitativo das variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de São Paulo em 2007. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2008, São Carlos. **Anais de Eventos da UFSCar**. São Carlos: UFSCar, 2008. v. 4, p. 393.

MOORE, P. H. Physiology and control of flowering. In: COPERSUCAR INTERNATIONAL SUGARCANE BREEDING WORKSHOP, 1987. [S.l.: Copersucar, 198-?].

MOZAMBANI, A. E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: [s.n.], 2006. p. 11-18.

MUCHOW, R. C. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop grown under irrigated tropical conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 45, p. 37-49, 1994.

NICKELL, L. G. Sugarcane. In: ALVIM, P., KOZLOWSKI, T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 89–110.

PARANHOS, S. B. et al. **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, 431 p.

PEREIRA, A. R.; BARBIERI, V.; MANIERO, M. A. Condicionamento climático da indução ao florescimento em cana-de-açúcar. **Revista dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 4, n. 6, p. 56-59, 1986.

PERES, F. C. **Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana-de-açúcar**: ciclo de cana soca. 1988. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PRADO, A. P. A. **Perfilhamento e produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função da densidade de plantio**. 1988. 69 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RAMESH, P. Effect of drought on nutrient utilization, yield and quality of sugarcane (*Saccharum officinarum*) varieties. **Indian Journal of Agronomy**, Nova Delhi, v. 45, n. 2, p. 401-406, 2000.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Unesp, 1995. 99 p.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Programas**: Melhoramento genético. Agência de Informação Embrapa. Cana-de-açúcar. Disponível em: < [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_141\\_22122006154842.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_141_22122006154842.html) >. Acesso em: 1 abr. 2009.

SANTOS, M. A. L. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**: um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. 2005. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCARPARI, M. S. **PREDPOL**: um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado. 2007. 120 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 486–491, 2004.

SEGATTO S. V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2006. 415 p.

SENTELHAS, P. C.; ORTOLAN, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 437-445, 1995.

SHAW, M. E. A.; INNES, R. F. The growth pattern and yield of annual cane planted at different seasons and the effects of nitrogen treatments. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., 1965, San Juan, Puerto Rico. **Proceedings...** Louisiana: Franklin Press, 1965. p. 401-428.

SILVA, J. G., SENTELHAS, P. C. Diferença de temperatura mínima do ar medida no abrigo e na relva e probabilidade de sua ocorrência em eventos de geada no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 9-15, 2001.

SILVA, M. A.; CAPUTO, M. M. Effect of lodging on growth, yield and cane quality of sugarcane varieties grown in Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 25., 2005, Guatemala. **Proceedings...** Guatemala: D. M. Hogarth, 2005. p. 176-183.

SINGH, G. et al. Lodging: A major constraint to high yield and CCS in the wet and dry tropics. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONFERENCE, 22., 2000, Bundaberg. **Proceedings...** Bundaberg: D. M. Hogarth, 2000. p. 315-321.

SMITH D. M. et al. **Growth and function of the sugarcane root system**. Australia: Elsevier B.V, 2005. 18 p.

STEVENSON, G. C. **Genetics and breeding of sugarcane**. London: Longman, Green and Co., 1965.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar**: avaliação do Modelo Mosicas. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia)– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SUNDARA, B., TRIPATHI, B. K. Available N changes and N balance under multiratooning of sugarcane varieties in a tropical vertisol. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 23., 1999. **Proceedings...** [Mauritius: ISSCT, 1999?]. p. 80–88.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) baseados em parâmetros do solo e do clima**. 2003. 86 f. Tese (Doutorado)-Universidade de São Paulo, Piracicaba.

UNICA. **Dados e cotações**: estatísticas. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/> >. Acesso em: 13 abr. 2009.

VERMA, R. S. **Sugarcane ratoon management**. Lucknow: International Book Distributing, 2002. p. 202.

WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilizer. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, p. 173-182, 2000.

WREGE, M. S. et al. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 113-122, 2005.

# CANOLA

*Foto: Johannes Wienke*





## 1. INTRODUÇÃO

A canola é uma espécie pertencente à família das crucíferas (*Cruciferae*), que compreende cerca de 350 gêneros, incluindo o gênero *Brassica*, (Downey, 1990; Dias, 1992) e cerca de 3.000 espécies, a maioria encontrada nas zonas temperadas e frias do Hemisfério Norte. No Brasil, são encontradas apenas algumas espécies adventícias (Schultz, 1985).

As espécies da família *Cruciferae* são herbáceas e, em sua maioria, de ciclo anual (Gill & Vear, 1965; Joly, 1975), como a canola. Apresentam raiz pivotante com grande número de raízes secundárias (Dias, 1992), característica importante do ponto de vista agrônomo. O caule da planta de canola é ereto, desprovido de pelos, de coloração verde, podendo alcançar altura superior a 1,5 m, dependendo da espécie. O ambiente em que a canola é cultivada e o manejo da cultura determinam o desenvolvimento de mais ou menos ramificações do caule (Dias, 1992).

As folhas das espécies da família *Cruciferae* são inteiras ou compostas, alternadas e sem estípulas (Gill & Vear, 1965; Joly, 1975). No caso específico da canola, as folhas são desprovidas de pelos, igualmente ao caule, apresentando-se mais ou menos recortadas (Gill & Vear, 1965; Dias, 1992). A cor das mesmas pode variar entre o verde-azulado e o verde claro, dependendo da espécie e da variedade (Gill & Vear, 1965; Dias, 1992), bem como do nível de fertilidade do solo e, ou, adubação, principalmente, com nitrogênio.

As flores, em geral, são pequenas, organizadas na forma de inflorescência tipo racimo terminal (cacho), de simetria radial, hermafroditas, cíclicas e diclamídeas, de coloração amarela (Gill & Vear, 1965, Joly, 1975), possuindo quatro sépalas e quatro pétalas, dispostas em forma de cruz, condição que dá o nome à família (*Cruciferae*). A floração ocorre de baixo para cima (Dias, 1992), em cada rácimo, primeiro na haste principal e, posteriormente, nas secundárias, em ordem de surgimento das mesmas.

O fruto é alongado e seco, do tipo síliqua, o qual se abre em duas metades, isolando o falso septo (Gill & Vear, 1965; Joly, 1975), com cerca de 6 a 7 cm de comprimento, e de 3 a 4 mm de espessura. As sementes são esféricas, com 1 a 2 mm de diâmetro, de coloração variável entre o verde e o preto, passando por tons de amarelo a castanho-escuro, conforme o grau de maturação e a espécie. Os dois cotilédones do grão são bastante desenvolvidos, com 30 a 45% de óleo e, 20 a 25%, de proteína (Dias, 1992).

A canola é tradicionalmente cultivada em regiões de clima frio. É originária do melhoramento genético convencional da colza, cujo objetivo principal foi à redução dos teores de ácido erúico e de glucosinolatos, compostos presentes no óleo e potencialmente tóxicos para o consumo humano.

No Brasil, cultivares de colza foram introduzidas antes das cultivares padrão canola, sendo primeiramente cultivadas no Rio Grande do Sul. As primeiras pesquisas, com a cultura (colza) e o cultivo comercial, foram iniciadas em 1974, pela Cooperativa Triticola Serrana Ltda (COTRIJUÍ) (Sistema..., 1981; Tomm, 2007), com seleção de materiais provenientes do Canadá e da Alemanha (Dias, 1992). Na década de 1980, os trabalhos de pesquisa e o cultivo comercial iniciaram-se no Paraná e, em 2003, em Goiás (Tomm, 2006).

Em 1980, motivado por um contexto favorável (Sistema..., 1981), o Governo do Estado do Rio Grande do Sul, por meio da Secretaria da Agricultura e outras entidades públicas e privadas, criaram o Comitê da Colza.

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo, C.P. 451, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS. E-mail: dalmago@cnpt.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: cunha@cnpt.embrapa.br

3- Eng. Agrônomo, Ph.D, Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: tomm@cnpt.embrapa.br

4- Eng. Agrônomo, Mestre, Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: anderson@cnpt.embrapa.br

5- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: pires@cnpt.embrapa.br

A finalidade era fomentar a cultura no Estado. Em 1981, o Comitê da colza, em reunião técnica, estabeleceu o sistema de produção para a cultura (Dias, 1992). A iniciativa teve efeitos positivos imediatos, mas regrediu no ano seguinte devido à queda acentuada no rendimento de grãos, decorrente, principalmente, das fortes chuvas e ventos, que ocorreram no fim do ciclo da cultura, provocando elevada porcentagem de debulha natural (Dias, 1992).

Em meados da década de 1990, a cultura da canola começou a ganhar novamente espaço nas áreas de cultivo, principalmente durante o inverno, impulsionada pela superior qualidade nutricional do óleo, em relação a outros óleos comestíveis, como o de soja. No início deste século, a cultura da canola ganhou novo impulso pela perspectiva da utilização do óleo para a mistura com o óleo diesel, para a produção de biodiesel (Tomm, 2006). Este impulso deriva, principalmente, do fato de o biodiesel, à base de óleo de canola, ser o padrão de referência deste produto na Europa.

Atualmente, no sul do Brasil, a canola constitui importante espécie alternativa para rotação de culturas, com as espécies de verão, possibilitando fonte adicional de renda aos agricultores. Além disso, alguns estudos apontam potencial de cultivo da canola em outras regiões do País, possibilitando a futura expansão da cultura (Tomm, 2006).

### 1.1 Fenologia

As principais espécies cultivadas são a *Brassica napus* L. Var oleífera e a *Brassica campestris* L., sinônimo *B. rapa* (Pieghden, 1983 apud McVetty et al., 1989), com tipos de inverno, cultivados principalmente na Europa e, de primavera, cultivados em países como o Canadá e a Austrália (Iriarte, 2002). A diferença entre os tipos é que a canola de inverno necessita de um período de vernalização para indução ao florescimento, ao contrário do tipo de primavera, que apresenta menor necessidade de vernalização (Walton et al., 1999). No Brasil, é cultivada, apenas, a canola de primavera, da espécie *Brassica napus* L. Var. Oleífera (Tomm, 2007). Por isso, a descrição do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo será feita, prioritariamente, com base na canola de primavera.

A fenologia de qualquer espécie estudada e, ou, cultivada é descrita, utilizando-se uma escala fenológica, a qual representa, detalhadamente, o desenvolvimento da respectiva espécie durante seu ciclo de vida. Embora diversos segmentos ligados à agricultura façam uso de estádios fenológicos, de diferentes espécies e com objetivos diversos, a definição de uma padronização, via escala fenológica, possibilita que seja usado um vocabulário científico comum.

No caso da canola, não se conhece uma escala fenológica de uso rotineiro no Brasil, quer seja local ou adaptada. Por esta razão, a descrição da fenologia da canola é feita de acordo com escalas fenológicas desenvolvidas em outras partes no mundo. Neste texto, será adotada a escala fenológica desenvolvida pelo grupo de trabalho BBCH (BASF, Bayer, Ciba-Geigy e Hoechst), apresentada por Méier et al. (2001), com as descrições dos principais estádios de desenvolvimento da canola, contidas em Thomas (2003) (Tabela 1). Uma representação esquemática é apresentada na Figura 1.

**Tabela 1. Escala fenológica da canola, adaptada do grupo de trabalho BBCH (Méier et al., 2001).**

Estádio ou código	Descrição dos Estádios Fenológicos
<b>FASE VEGETATIVA (0 - 4)</b>	
<b>Estádio principal 0. Germinação</b>	
00	Semente seca
01	Início da embebição da semente
03	Embebição completa da semente
05	Saída da radícula da semente (raiz embrionária)
07	Hipocótilo com os cotilédones fora da semente
08	Hipocótilo com os cotilédones crescendo em direção à superfície do solo
09	Emergência: cotilédones acima da superfície do solo
<b>Estádio principal 1. Desenvolvimento das folhas na haste principal1</b>	
10	Cotilédones completamente desenvolvidos
11	1ª folha desenvolvida
12	2ª folha desenvolvida
13	3ª folha desenvolvida
14	4ª folha desenvolvida
15	5ª folha desenvolvida
16	6ª folha desenvolvida
17	7ª folha desenvolvida
18	8ª folha desenvolvida
19	9ª folha desenvolvida
<b>Estádio principal 2. Formação de brotos laterais</b>	
20	Sem a presença de brotos laterais
21	Início do desenvolvimento de brotos laterais (1º broto visível)
22	Dois brotos laterais visíveis
23	Três brotos laterais visíveis
24	Quatro brotos laterais visíveis
25	Cinco brotos laterais visíveis
26	Seis brotos laterais visíveis
27	Sete brotos laterais visíveis

Estádio ou código	Descrição dos Estádios Fenológicos
28	Oito brotos laterais visíveis
29	Final do desenvolvimento dos brotos laterais (9 ou mais brotos laterais)
<b>Estádio principal 3. Crescimento da haste principal2</b>	
30	Roseta (sem entrenós visíveis)
31	Um entrenó visível
32	Dois entrenós visíveis
33	Três entrenós visíveis
34	Quatro entrenós visíveis
35	Cinco entrenós visíveis
36	Seis entrenós visíveis
37	Sete entrenós visíveis
38	Oito entrenós visíveis
39	Nove ou mais entrenós visíveis
<b>Estádio principal 4.</b>	Este estágio de crescimento (40-49) não é importante para o manejo da canola, sendo aplicado na avaliação da fenologia de cultura em que são colhidas partes vegetativas, como o brócolis ou couve-flor
<b>FASE REPRODUTIVA (5-9)</b>	
<b>Estádio principal 5. Emergência da Inflorescência</b>	
50	Botão floral presente, ainda rodeado por folhas
51	Botão floral visível – botão verde
52	Botão floral livre e no mesmo nível das folhas mais jovens
53	Botão floral acima das folhas mais jovens
55	Botão floral individual visível na inflorescência principal, mas ainda fechado
57	Botão floral individual visível na inflorescência secundária, mas ainda fechado
59	Primeiras pétalas visíveis, mas botão floral ainda fechado – botão amarelo
<b>Estádio principal 6. Floração – inflorescência principal</b>	
60	Primeiras flores abertas
61	10% das flores abertas na inflorescência principal
62	20% das flores abertas na inflorescência principal
63	30% das flores abertas na inflorescência principal
64	40% das flores abertas na inflorescência principal

Estádio ou código	Descrição dos Estádios Fenológicos
65	Floração plena – 50% das flores abertas na inflorescência principal – caem as pétalas das flores mais velhas
67	Redução da floração – maioria das pétalas caídas
69	Fim da floração
<b>Estádio principal 7. Desenvolvimento dos grãos</b>	
70	0% de síliquas alcançou o tamanho final <sup>3</sup>
71	10% de síliquas alcançaram o tamanho final
72	20% de síliquas alcançaram o tamanho final
73	30% de síliquas alcançaram o tamanho final
74	40% de síliquas alcançaram o tamanho final
75	50% de síliquas alcançaram o tamanho final
76	60% de síliquas alcançaram o tamanho final
77	70% de síliquas alcançaram o tamanho final
78	80% de síliquas alcançaram o tamanho final
79	Quase todas as síliquas alcançam o tamanho final
<b>Estádio principal 8. Maturação de síliquas e grãos</b>	
80	Início da maturação – grãos verdes, preenchendo a síliqua
81	10% das síliquas maduras <sup>4</sup> – grãos escuros e duros
82	20% das síliquas maduras – grãos escuros e duros
83	30% das síliquas maduras – grãos escuros e duros
84	40% das síliquas maduras – grãos escuros e duros
85	50% das síliquas maduras – grãos escuros e duros
86	60% das síliquas maduras – grãos escuros e duros
87	70% das síliquas maduras – grãos escuros e duros
88	80% das síliquas maduras – grãos escuros e duros
89	Maturação completa – quase todas as síliquas maduras, com grãos escuros e duros
<b>Estádio principal 9. Senescência</b>	
97	Planta morta e seca
99	Colheita dos grãos

1 A formação de botões laterais pode começar antes do estágio 19 e continuar após o estágio 20.

2 O entrenó estendido e visível “n” situa-se entre a folha “n” e “n+1”.

3 O tamanho final das síliquas alcança entre 6 a 7 cm.

4 A síliqua é considerada madura quando se apresenta em tons mais escuros.



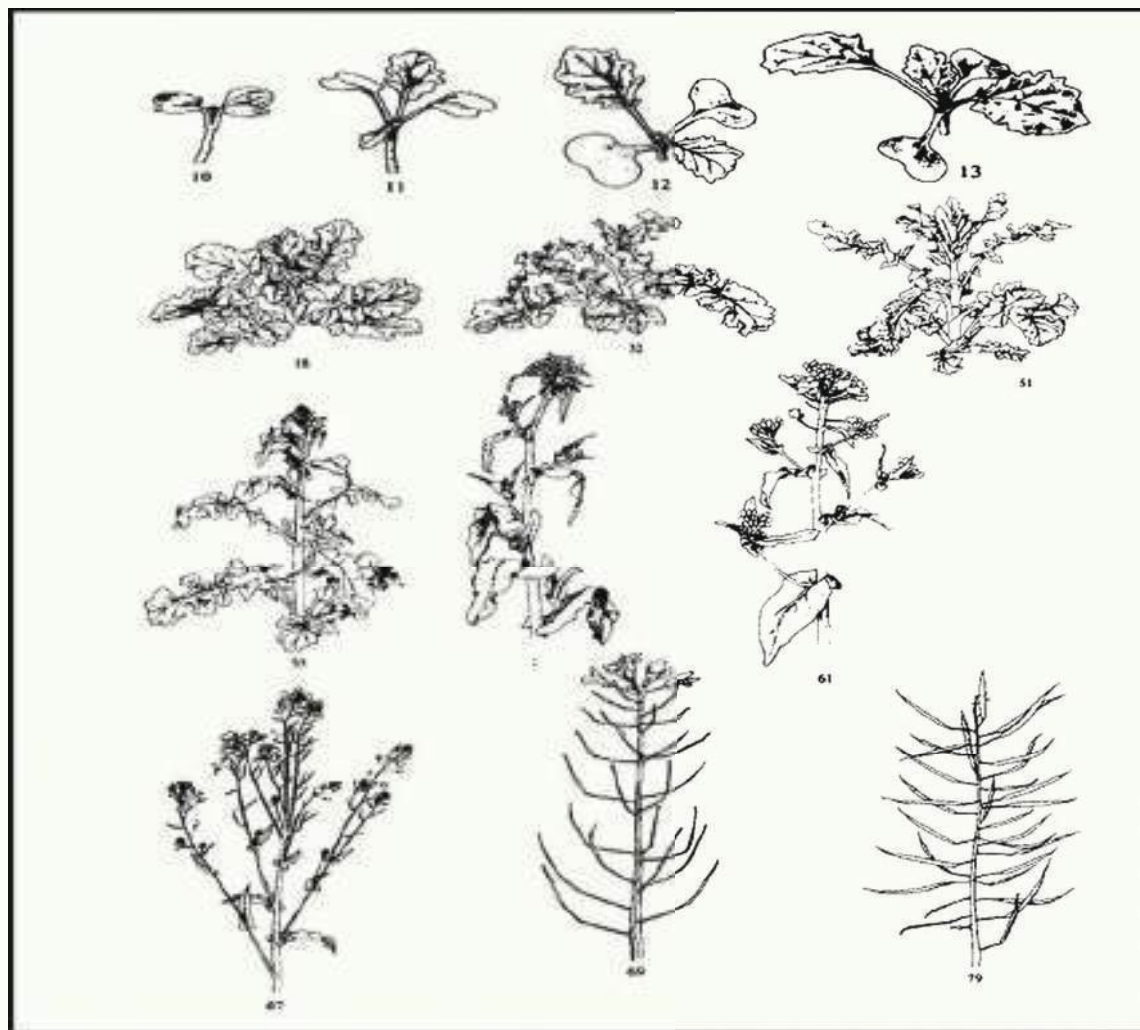


Figura 1. Representação esquemática dos estádios de desenvolvimento da canola. Adaptada de Méier et al. (2001).

As primeiras folhas verdadeiras surgem entre quatro e oito dias após a emergência das plântulas, dispendo-se, alternadamente, em forma de roseta, com as folhas velhas localizadas na base e, as novas, no centro (Thomas, 2003). O efeito da época de semeadura, sobre o surgimento de folhas, acontece somente na emissão da primeira folha, havendo um atraso de 1,35 dias na emissão, para cada 1º C de redução da temperatura (Nanda, et al. 1995).

Segundo Thomas (2003), uma planta de canola pode apresentar um número final de folhas próximo a 30 e, área foliar máxima, de 250 cm<sup>2</sup>, na ausência de estresse, valor bem abaixo dos 800 cm<sup>2</sup> observados por Nanda et al. (1995) na *Brassica napus*.

O tamanho das folhas depende da época de semeadura. As semeaduras mais precoces (maior período inicial de frio) apresentam folhas maiores que plantas semeadas em épocas mais tardias (temperatura mais elevadas, durante o crescimento vegetativo). Na planta, a folha com máximo tamanho é aquela emergida próxima à iniciação floral, indicando que a iniciação floral e o tamanho da área foliar são importantes na definição do número de folhas da canola (Nanda et al. 1995). Desta forma, é próximo ao florescimento que ocorre o máximo índice de área foliar, o qual pode variar de 3 a 6, dependendo da espécie (Farré et al., 2002; Thomas, 2003), mas, podendo ser até superior a 8 (Tefamariam, 2004).

O período reprodutivo da canola inicia-se quando os botões florais aparecem no centro da roseta (estádio de desenvolvimento da canola). Com a alongação da haste floral, surgem as hastes secundárias nas axilas das folhas (Thomas, 2003). O florescimento inicia-se com a abertura da primeira flor, na base da inflorescência da haste principal, estendendo-se em direção à parte superior da mesma. Isso

também acontece nas hastes secundárias, com o início do florescimento ocorrendo de 2 a 4 dias após o início na haste principal. As flores permanecem receptivas à polinização por três dias, sendo que a fecundação ocorre um dia após a polinização.

Somente 40 a 50% das flores emitidas formam siliquis produtivas, pois as demais flores e, ou, siliquis, em estágio inicial de desenvolvimento, são naturalmente abortadas (Thomas, 2003; Iriarte et al., 2008a). O período de floração da canola é longo, estando, em média, entre 30 e 35 dias (Iriarte et al., 2008a), podendo atingir até 45 dias em híbridos de ciclo longo, o que permite compensar a perda de flores provocadas por fatores adversos como geada e, ou, temperaturas acima do limite crítico (Tomm, 2007). No entanto, as flores emitidas nos primeiros 15 dias da floração têm maior potencial de formar siliquis produtivas (Iriarte et al., 2008a). Este potencial também é maior para sementeiras realizadas no momento certo, comparativamente às sementeiras tardias, conforme mostram os dados apresentados por Adamsen & Coffelt (2005), para o sul dos Estados Unidos e o norte do México.

A maturação da canola inicia-se com a queda da última flor aberta na haste principal, seguindo paralelamente à floração nas hastes secundárias. Em média, a maturação é alcançada entre 40 e 60 dias após o início do florescimento (Iriarte et al., 2008a), podendo chegar a 87 dias, nas condições prevalentes do sul do Brasil, com genótipos de ciclo mais longo. Embora seja difícil a determinação visual da maturação da canola (Nanda et al., 1996), ela é caracterizada pela mudança de cor dos grãos, os quais passam de uma cor verde claro para verde escuro e, depois, para cor preta (marrom). A maturação fisiológica, estágio a partir do qual não ocorre acréscimo de biomassa na planta, é observada quando cerca de 40 a 60% dos grãos das siliquis, da parte central da haste principal, mudaram de cor (Tomm, 2007).

A canola cultivada atualmente no Rio Grande do Sul apresenta três ciclos de maturação, conforme Tomm (2007) e Dalmago et al. (2008). O ciclo precoce apresenta duração de 130 dias, da emergência à maturação, enquanto os materiais de ciclo médio e tardio apresentam durações entre 140 e 150 dias, da emergência à maturação, respectivamente. A classificação, em termos de ciclo, também é adotada na Argentina (Iriarte et al., 2008a), sendo composta de materiais de ciclo curto (precoce) e intermediário. Apesar do uso do número de dias, para a definição do ciclo da cultura da canola ser um indicador disponível, é necessário considerar que esta forma de classificação apresenta grande variabilidade, uma vez que a taxa de desenvolvimento da planta responde à temperatura do ar. Isso pode causar grande diferença em termos de ciclo, segundo o número de dias após a emergência.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

Por apresentar sementes relativamente pequenas, de 1 a 2 mm de diâmetro (Dias, 1992), a sensibilidade da canola aos fatores pedoambientais é alta, desde o início da germinação e emergência. Em temperaturas de solo inferiores a 10°C, e com baixo teor de água no solo, a germinação é severamente afetada, ao ponto de inviabilizar-se (Blackshaw, 1991; Nykiforuk & Johnson-Flanagan, 1994; Nykiforuk & Johnson-Flanagan, 1999). Iniciando o processo de germinação e o estabelecimento posterior, nestas condições, a emergência das plântulas também fica comprometida, levando, à morte, grande parte das plantas. Nos casos em que as plântulas conseguem emergir e sobreviver, a taxa de crescimento, nestas condições, é lenta, apresentando peso fresco menor que plântulas cuja germinação das sementes e crescimento das plântulas ocorreu em temperaturas mais elevadas (Nykiforuk & Johnson-Flanagan, 1999). Resultados obtidos por Nykiforuk & Johnson-Flanagan (1999) sugerem que a causa do baixo desenvolvimento das plântulas, em baixas temperaturas, é a redução na mobilização de lipídios (Nykiforuk & Johnson-Flanagan, 1994), associada à limitada energia disponível durante o crescimento heterotrófico das plântulas de canola.

O conhecimento produzido no Brasil, sobre ecofisiologia da canola, é mínimo, apesar da história de pesquisa e de cultivo no país, que se iniciou em 1974. Considerando a possibilidade do cultivo da canola em regiões tropicais (Tomm et al., 2004), praticamente não há estudos nessa linha de pesquisa que possam auxiliar outras áreas. Por isso, a base ecofisiológica da canola, assumida neste texto, em boa parte, refere-se ao tipo de primavera, cultivado em outras partes do Mundo, que apresentam

condições climáticas semelhantes às existentes no Brasil, potencialmente aptas ao cultivo de canola. As plantas de canola de inverno apresentam necessidades e repostas diferentes daquelas de primavera e serão referenciadas quando apresentadas. Com relação às necessidades e respostas das diferentes espécies de canola do gênero *Brassica* (*B. napus* e *B. campestris*), as mesmas serão agrupadas, com exceção da espécie *Brassica juncea* L., que apresenta particularidades ecofisiológicas importantes, merecendo destaque, separadamente, principalmente no que se refere às respostas a ambientes mais quentes e secos.

## 2.1 Disponibilidade hídrica

Estudos realizados no início da década de 1980, no Rio Grande do Sul, com a colza, apontam para uma necessidade de 312 mm durante o ciclo (Westphalen & Bergamaschi, 1982). Porém, a indicação para o cultivo da colza, para o mesmo período, apontava uma necessidade de água, durante o ciclo, entre 450-500 mm (Sistema..., 1981). No Canadá, os índices hídricos são bastante variáveis, estando estabelecidos entre 325 e 550 mm de água durante o ciclo, variando de acordo com o híbrido e com o tipo de solo em que a canola é cultivada (Thomas, 2003). Em experimento realizado na África do Sul, Tesfamariam (2004) observou que o rendimento da canola aumentou de 908 kg ha<sup>-1</sup> para 3.831 kg ha<sup>-1</sup>, quando a quantidade total de água, durante o ciclo, passou de 251 mm para 709 mm, respectivamente. Segundo Westphalen & Bergamaschi (1982), a evapotranspiração média é de 1,87 mm dia<sup>-1</sup>, com valor máximo de 2,8 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo durante a maturação de grãos, na condição de cultivo do Rio Grande do Sul. Na Austrália, Wachsmann et al. (2003), avaliando o uso diário de água pela canola, encontraram valores médios durante o ciclo, variando de 1,88 a 2,28 mm dia<sup>-1</sup>. Porém, no Canadá, segundo Thomas (2003), a necessidade hídrica da canola varia entre 6 e 8 mm dia<sup>-1</sup>, durante o final da elongação do colmo principal, floração e formação inicial das síliquas. Esta elevada demanda, em latitudes de aproximadamente 50°, provavelmente, está associada aos dias longos, com mais de 16 horas, e as elevadas temperaturas que ocorrem no verão.

A canola se desenvolve melhor em solos profundos, bem drenados (Dias, 1992), mas que apresentem, pelo menos, capacidade de água disponível (CAD) de 70 mm de água, na zona radicular (Carmody & Walton, 1998). De acordo com Thomas (2003), as raízes da canola podem atingir de 90 a 190 cm de profundidade, com média de 140 cm, sendo 85% da profundidade máxima atingida até o florescimento. Neste sentido, Milroy et al. (2004) encontraram a distribuição radicular, da canola e do trigo, concentrada entre 20 e 40 cm, em consequência de impedimento físico. Entretanto, ambas as espécies extraíram água até 70 cm de profundidade, sugerindo que a camada compactada não teve grande efeito restritivo à extração de água do solo. De acordo com Walton et al. (1999), a extração de água pode chegar a 150 cm de profundidade, porém a maior concentração radicular encontra-se nos primeiros 30 cm de profundidade.

Nas áreas de cultivo de canola no Brasil, as precipitações pluviais geralmente são maiores que no Canadá, favorecendo o predomínio de solos ácidos e com alumínio tóxico, limitando, quimicamente, o desenvolvimento de raízes. A correção de solo com calcário tem se restringido à camada de até 20 cm e, com frequência, também se observam restrições físicas (compactação). Assim, nas condições brasileiras, existe maior concentração de raízes próxima à superfície, comparativamente às condições canadenses, chegando a atingir, no máximo, 50 cm de profundidade, independente do tipo de solo. No entanto, em solos não ácidos, com textura argilosa e sem impedimento físico, as raízes podem atingir até 90 cm de profundidade, enquanto, em solos arenosos e sem impedimentos químicos e físicos, o crescimento radicular pode atingir 150 cm de profundidade. De acordo com Walton et al. (1999), o crescimento radicular da canola, em profundidade, é relativamente constante, com média diária de 1 cm a 2 , em solos sem impedimentos físicos e, ou, químicos, e com bom conteúdo de água (Thomas, 2003), sendo a taxa de crescimento uma função da taxa de crescimento da parte aérea, pela raiz quadrada da matéria seca de raízes (Annandale et al., 1999).

A demanda hídrica da canola, como das demais culturas, pode ser expressa pelo coeficiente de cultura, o qual permite a estimativa da necessidade de água, quando multiplicado pela evapotranspiração de referência. Informações geradas na década de 1980, para a colza, indicam que o Kc variou de 0,52, no início do ciclo, a 0,73, no início da floração, baixando novamente para 0,50, no final do enchimento de grãos e, ou, maturação fisiológica (Westphalen & Bergamaschi, 1982). Nas condições de cultivo do México, em clima árido e quente, os Kcs encontrados foram diferentes, variando entre 0,2, 1,5 e 0,6, aproximadamente, para o início do ciclo, a floração e o final do ciclo da canola, respectivamente (Ibarra et al., 2005). A alta variabilidade nos valores de Kc, em função do tipo de ambiente e método de determinação, associada à baixa disponibilidade de informações na literatura, pressupõe o uso dos valores estabelecidos pela FAO (Allen et al., 1998), que são de 0,35, 1,15 e 0,51, para o início do ciclo, a floração e o final do ciclo da canola, respectivamente.

O fator de resposta ao déficit hídrico (Ky), pela cultura da canola, que descreve a redução relativa do rendimento de grãos em relação à redução da evapotranspiração da cultura, causada pela redução da disponibilidade de água no solo (Allen et al., 1998), ainda não foi determinado (Doorenbos & Pruitt, 1992). Nesta situação, Allen et al. (1998) sugerem utilizar o valor 1 para a cultura cujo Ky não for conhecido, ou utilizar valores de uma cultura com características próximas, que, neste caso, seria o repolho (Doorenbos & Pruitt, 1992). Assim, o valor de Ky, para o período vegetativo inicial, é 0,2; na floração, é 0,45; e, na maturação das síliquas e, ou, dos grãos, é de 0,60. Considerando todo o ciclo, o valor apresentado por Doorenbos & Pruitt, (1992) é de 0,95.

A condição hídrica disponibilizada às plantas de canola, do fim do florescimento/início ao enchimento de grãos, tem reflexos também na concentração de óleo no grão. A falta de água, durante este período, pode induzir redução na concentração de óleo, que varia de 0,39% a 2,16%, para déficit moderados e altos, respectivamente (Sinaki et al., 2007), em relação à condição sem déficit. Por outro lado, Si & Walton (2004) encontraram taxa de aumento na concentração de óleo, nos grãos, de 0,7% a cada 10 mm de precipitação após a antese, trabalhando em região de baixa precipitação pluvial, no Irã. A redução e, ou, aumento na concentração de óleo, nos grãos, associada à variabilidade de rendimento de grãos, pode representar reduções significativas (20 a 36%) no rendimento de óleo, por área (Sinaki et al., 2007).

## 2.2 Temperatura

A canola cultivada, atualmente no Brasil, apresenta menor sensibilidade ao fotoperíodo e maior resposta à temperatura do ar (soma térmica) que as variedades de polinização aberta de colza, cultivadas no passado. A temperatura do ar é o fator ambiental mais importante na regulação do crescimento e desenvolvimento da canola (Thomas, 2003).

A temperatura base para a canola, abaixo da qual o desenvolvimento e, ou, crescimento das plantas não ocorre, é considerada como 5°C, em grande parte da literatura consultada. Resultados recentes indicam valores menores, estando entre 0°C e 1°C, de acordo com Thomas, (2003) e, entre 0,4°C e 1,2°C, conforme estimativa de Merle et al. (1997). Entretanto, Nanda et al. (1995) calcularam a temperatura-base para quatro espécies de *Brassica*, incluindo duas espécies de canola, não encontrando diferenças marcantes entre espécies, concluindo que a temperatura-base é próxima de 5°C. A temperatura-base de 5°C foi também sugerida por Morrison et al. (1989), sendo amplamente considerada em citações de autores, quando da utilização desta temperatura cardinal.

A canola apresenta seu máximo desenvolvimento em temperatura média de 20°C, mas se adapta bem em locais com temperatura oscilando entre 12 e 30°C, embora possam ocorrer estresses térmicos em temperaturas do ar entre 25 e 27°C (Robertson et al., 2002a; Thomas, 2003). Para a germinação, a faixa de temperatura do solo, considerada ideal, situa-se entre 15 e 20°C (Kondra et al., 1983). Contudo, a germinação pode ocorrer até em temperatura de solo de 2°C, porém, a taxas reduzidas. Severa redução de germinação ocorre em temperaturas de solo abaixo de 8°C. Com temperatura de solo de 0°C, não ocorre emergência de plantas (Merle et al., 1997). Após a emergência, a canola cresce melhor sob temperaturas do ar mais baixas, até o florescimento, com faixa ótima, para desenvolvimento foliar, entre 13 e 22°C e, média, de 17°C (Thomas, 2003).

Embora a canola de primavera não necessite de vernalização, ela se desenvolve melhor em climas cujas temperaturas médias do ar sejam amenas. Os limites extremos de temperatura do ar, inferior e superior, também são conhecidos, mas apresentam certa variabilidade, de acordo com as condições dos ambientes de cultivo.

O limite extremo inferior, de temperatura do ar, está relacionado às temperaturas que proporcionam a formação de geada, fenômeno que pode causar sérias restrições ao desenvolvimento da canola e ao rendimento de grãos, levando inclusive as plantas à morte. O estágio de plântula é mais sensível que o de florescimento, principalmente sob condições de alta umidade no solo. A morte das plântulas pode ocorrer com temperaturas do ar entre -3°C e -4°C (Thomas, 2003), caso não tenha decorrido um período de aclimação anterior às temperaturas mínimas extremas.

O limite superior de temperatura do ar, por si só, não chega a ser letal às plantas de canola, nos ambientes em que é cultivada no Brasil. Normalmente, os danos severos estão relacionados à ocorrência de temperatura elevada associada ao déficit hídrico, a qual potencializa os efeitos deletérios sobre a planta. Em função disso, o limite crítico superior, que causa a morte das plantas de canola, pode apresentar grandes variações de um local para outro, sendo, a planta, também influenciada pelas condições de manejo. Temperaturas do ar elevadas diminuem a produção total de matéria seca, o número de siliques por planta, o número de grãos por síliqua e o peso de grãos, resultando em menor rendimento (Thomas, 2003). Na floração, as altas temperaturas aceleram o desenvolvimento, reduzindo o tempo entre a floração e a maturação, encurtando, também, o tempo em que a flor é receptiva ao pólen, bem como a duração da liberação e a viabilidade do mesmo (Thomas, 2003). O limite crítico encontrado, capaz de causar danos à flor de canola, foi de 27 °C, para plantas cultivadas em câmaras de crescimento (Morrison, 1993), enquanto que, no campo, o limite, segundo Morrison e Stewart, (2002), foi de 29,5 °C. A partir destes valores, foi observado esterilidade das flores. Durante o enchimento dos grãos, a canola é mais tolerante às temperaturas elevadas, as quais não causam sérios problemas à planta (Thomas, 2003). Porém, Si & Walton (2004) mostraram que pode ocorrer uma redução de 0,68% no conteúdo de óleo no grão e, de 289 kg ha<sup>-1</sup>, no rendimento, para cada 1°C de aumento na temperatura acima da ótima, após a antese. Shaykewich (2005) assumiu 30°C como sendo a temperatura basal máxima para a canola.

Atendidas as necessidades térmicas da canola (limites críticos e temperatura ótima), o efeito mais importante da temperatura do ar, sobre as plantas de canola, reside na definição dos estádios fenológicos. Cada estágio avança a partir do acúmulo de certa quantidade de temperatura, expressa pelo índice de graus-dia.

De acordo com Thomas (2003), considerando temperatura-base de 0°C, o acúmulo de graus-dia, da emergência das plântulas até a abertura completa dos cotilédones, é de, aproximadamente, 145 graus-dia; até o início do florescimento (50% das plantas com uma flor aberta), é de 567 graus-dia; até o florescimento completo, o acúmulo médio é de 742 graus-dia; até 10% dos grãos formados, o acúmulo médio é de 952 graus-dia; até 10% dos grãos mudando de cor, o acúmulo é de 1.300 graus-dia; e, o acúmulo, no ponto ótimo de colheita (40% dos grãos e das hastes que mudaram de cor), é de 1.405 graus-dia.

Entretanto, Tesfamariam (2004), mesmo usando temperatura base de 5°C, em experimento realizado na África do Sul, encontrou valores de graus-dia um pouco maiores que aqueles apresentados, por Thomas (2003), no Canadá. Para a emergência e o estágio vegetativo, os valores encontrados foram de 77 e 527 graus-dia, respectivamente, enquanto, para a transição ao estágio vegetativo e, deste ao estágio de florescimento e, do florescimento ao enchimento de grãos, os graus-dia acumulados foram de 727, 997 e 1.742, respectivamente. Morrison et al. (1989) apresentaram valores de graus-dia acumulados, acima da temperatura base de 5°C, para os subperíodos de desenvolvimento da canola, a partir da semeadura até a emergência, início do vegetativo, fim do vegetativo, aparecimento do botão floral, florescimento, enchimento de grão e maturação fisiológica, da ordem de 97,0 graus-dia, 245,8 graus-dia, 373,5 graus-dia, 449,0 graus-dia, 576,0 graus-dia, 859,7 graus-dia e 1157,2 graus-dia, respectivamente.

### 2.3 Radiação solar

A radiação solar é o elemento meteorológico mais importante no ciclo de vida dos organismos autotróficos, por fornecer a energia necessária à produção de alimentos. Em condições não limitantes, a produção de matéria seca é linearmente relacionada à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (Kiniry et al., 1989), independentemente da espécie considerada. O coeficiente angular dessa relação representa a eficiência de conversão da radiação solar em matéria seca, ou eficiência de uso da radiação solar.

Para a canola de primavera, a eficiência de uso da radiação solar está entre 1,05 e 1,18 g/MJ de radiação solar global, segundo Robertson et al. (2002a), podendo chegar a 1,35 g/MJ, de acordo com Wright et al. (1988). Considerando apenas a radiação fotossinteticamente ativa, Morrison & Stewart (1995) encontraram valores médios de eficiência de uso da ordem de 2,27 g/MJ e 3,39 g/MJ, para espaçamento entre linhas de plantas de 15 e 30 cm, respectivamente. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Mendham et al., (1990). À medida que ocorre o aumento da densidade de plantas, de 1,5 kg de sementes por hectare, para 12 kg, há redução linear da eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa, à taxa de -0,1034 g/MJ. Enquanto na densidade mais baixa a eficiência de uso foi de 3,37 g/MJ, na densidade mais elevada, foi de 2,23 g/MJ (Morrison & Stewart, 1995).

Os valores de eficiência de uso da radiação solar são semelhantes àqueles encontrados para a canola de inverno, de acordo com inúmeros resultados apresentados por Justes et al. (2000). A variabilidade entre os valores de uso da radiação solar pode ser atribuída a inúmeros fatores, como temperatura, estágio de desenvolvimento, densidade de semeadura, população de plantas, déficit hídrico, entre outros (Justes et al., 2000).

Antes de ser utilizada para a produção de fotoassimilados, a radiação solar é interceptada pelas folhas verdes e por outras partes fotossinteticamente ativas da canola, como as hastes e a próprias síliquas. No início do crescimento das plantas, a interceptação da radiação solar é baixa e vai aumentando com o incremento do índice de área foliar. A partir de um índice de área foliar igual a 4, cerca de 90% da radiação solar incidente é interceptada pelas plantas, porém, em florescimento completo, com índice de área foliar próximo a 8 (Tesfamariam, 2004), o dossel pode interceptar menos de 60% da radiação solar disponível, reduzindo o potencial fotossintético da cultura (Walton et al., 1999). Isso explica o abortamento de cerca de 30% do total das flores produzidas pela canola, pois a redução da absorção de radiação solar significa menor quantidade de fotoassimilados produzidos. O aumento da reflexão da radiação solar, após o florescimento e, portanto, a redução de absorção da mesma é devido à mudança da cor do dossel, causada pelas flores amarelas da canola. A canola não é sensível ao excesso de radiação solar, conforme resultados experimentais apresentados por Tomm et al. (2008), para a região nordeste do Estado da Paraíba.

A taxa média de assimilação de CO<sub>2</sub>, de acordo com Mcvetty et al (1989), foi de 15,5 e 13,9 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para a *Brassica napus* e *Brassica campestris*, respectivamente, valores abaixo daquele apresentado por Larcher (2000) (entre 20 e 40 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) para espécies C<sub>3</sub>, nas quais se insere a canola. Por outro lado, Jensen et al. (1996) encontraram que a fotossíntese líquida de plantas, sem deficiência hídrica e em ambiente saturado de luz, foi entre 35 e 45 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, antes do florescimento, reduzindo-se para 10 a 15 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> durante e após o florescimento, estando ambas altamente correlacionadas com a condutância foliar e o conteúdo de nitrogênio na folha. Isto pode ser explicado pelo fato de o nitrogênio fazer parte da clorofila e, quanto maior o teor de clorofila, maior também é a fotossíntese.

### 2.4 Fotoperíodo

As cultivares modernas de canola apresentam menor sensibilidade ao fotoperíodo que genótipos cultivados no passado, principalmente, em relação à colza. Mesmo assim, vários trabalhos têm demonstrado que a canola apresenta resposta à mudança no período de luz (Nanda et al., 1996; Robertson et al., 2002b). Pela resposta que a canola apresenta, em relação à duração do dia, ela é considerada espécie de dia longo (Dahanayake & Galwey, 1999; Iriarte et al., 2008b), embora haja

evidências, também, de respostas como plantas de dias curtos (Nanda et al., 1996). Todavia, como não pode haver dois tipos de respostas, é provável que exista outro fator ambiental que determine a resposta da canola como espécie de dia curto (Nanda et al., 1996).

As plantas de canola respondem ao fotoperíodo desde a emergência (Robertson et al., 2002b), estendendo-se até o surgimento dos primeiros botões florais. Praticamente, não apresenta resposta ao fotoperíodo depois do florescimento (Nanda et al., 1996). Por outro lado, Vilariño et al. (1998), e Gomez (2006), citado por Iriarte et al. (2008b), encontraram sensibilidade ao fotoperíodo durante o período reprodutivo. Como o fotoperíodo é fator de indução do período reprodutivo das espécies sensíveis, é provável que a sensibilidade ao mesmo, após o florescimento, seja, na realidade, resposta a outro fator, como foi demonstrado por Nanda et al. (1996).

A faixa de fotoperíodo, em que a canola é responsiva, apresenta variação entre 10,8 a 18 horas, de acordo com trabalhos citados na bibliografia. Porém, a faixa ótima parece estar entre 12 e 14 horas (Nanda et al., 1996; Iriarte et al., 2008b), para a maioria das espécies de canola. No entanto, alguns genótipos podem apresentar resposta ao comprimento do dia, de até, 18 horas, conforme encontrado por King & Kondra (1986) para genótipos de *Brassica napus* e *Brassica campestris*, no Canadá. Já Nanda et al. (1996) afirmam que a resposta ao fotoperíodo, pela canola, diminui de 14 horas até 16 horas e, praticamente, não há resposta para fotoperíodos menores que 12 horas, contradizendo os resultados apresentados por Salisbury & Green (1991) apud Nanda et al. (1996). Segundo estes autores, cultivares de canola de primavera, da espécie *Brassica napus* do Canadá, Europa e Austrália, respondem a comprimentos do dia entre 10 e 12 horas, sendo as cultivares da Europa mais responsivas ao aumento do comprimento dia, seguido pelas cultivares da Austrália e, com menor responsividade, aquelas do Canadá. De acordo com Nanda et al. (1996), o aumento do fotoperíodo, de 12 para 14 horas, reduz em 40% o tempo de florescimento da canola, indicando que, o aumento ou a diminuição do fotoperíodo, reflete não apenas na indução ao florescimento, mas também no tempo em que a canola permanece florescendo.

## 2.5 Vento

O vento é um dos elementos meteorológicos pouco estudados quanto ao efeito sobre a cultura da canola, talvez devido à dificuldade de se estabelecer condições de controle que permitam identificar sua real influência.

Do ponto de vista agrometeorológico, o vento, em princípio, afeta a canola da mesma forma que afetaria outras culturas, no que se refere à modificação e, ou, formação de microclimas, bem como nos danos causados aos tecidos, no acamamento de plantas, na polinização, no vetor de doenças e pragas, e na duração do período de molhamento (crítico para a ocorrência de doenças fúngicas e bacteriose), dentre outras implicações.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuvas intensas (colheita)

O granizo afeta significativamente a cultura da canola, dependendo da intensidade do mesmo e do estágio em que se encontram as plantas, no momento da ocorrência.

Granizos não muito intensos, e que atingem as plantas de canola durante o crescimento vegetativo, causam menos danos à lavoura, se ocorrem no estabelecimento da cultura ou durante a floração e o enchimento de grãos. Isto decorre da relativa abundância de área foliar e da excepcional capacidade de recuperação das plantas.

Antes do estabelecimento pleno das plantas, nos primeiros 30 dias após a emergência, as plantas apresentam estrutura frágil, quando o granizo pode quebrá-las por completo, inviabilizando a recuperação.

Quando ocorrem, os danos provocados pelo granizo, durante o crescimento vegetativo pleno, podem ser, em parte, recuperados pelas plantas, por meio da emissão de novas folhas e, ou, hastes,

principalmente nos genótipos de canola da espécie *Brassica napus*, que apresentam maior capacidade de recuperação. Observa-se que, mesmo atingindo a cultura na fase final do crescimento vegetativo, início do florescimento ou no início do enchimento de grãos, a recuperação das plantas, após a ocorrência de granizo, é possível, sendo os prejuízos, ao rendimento dos grãos, relativamente baixos.

As perdas no rendimento de grãos, de plantas atingidas por granizo, aproximam dos 25% da área foliar perdida (Thomas, 2003). Para reduzir os danos provocados pelo granizo, não há alternativas viáveis a serem aplicadas, para culturas de grãos como a canola.

No caso de chuvas intensas, embora possam ser prejudiciais no início do crescimento das plantas, por danificar plantas ou pela redução do estande por enxurradas, especialmente em solos com baixa infiltração e limitada cobertura vegetal, a maior importância se concentra na fase de maturação e colheita da canola. Da mesma forma que o vento, chuvas intensas podem provocar a abertura das síliques, em estágio avançado de maturação, e ocasionar a perda de grãos, devido à alta deiscência natural que a canola apresenta. Para amenizar este problema, é indicada a colheita antecipada da canola, com base na técnica do corte e enleiramento. Entretanto, se o período de chuvas for prolongado, pode danificar, mesmo assim, a canola enleirada.

### 3.2 Seca e Veranico

O período do florescimento da canola é o momento mais sensível quanto ao déficit hídrico (Thomas, 2003). Quando ocorre, verifica-se redução do número de síliques por planta, do número de grãos por síliqua (Carmody & Walton, 1998), do peso de grãos, do conteúdo de óleo e do rendimento de grãos (Thomas, 2003).

O efeito do déficit hídrico é ampliado, quando ocorre conjuntamente com altas temperaturas, por afetar drasticamente o processo de polinização. Além de reduzir a viabilidade do pólen e o tempo de liberação do mesmo, o déficit hídrico acelera o ciclo da cultura, encurtando o tempo entre o florescimento e a maturação dos grãos (Thomas, 2003).

Déficit hídrico, após a antese, pode reduzir em até 50% o rendimento de grãos, devido ao abortamento de síliques, reduzindo-as por planta (Walton et al., 1999; Sinaki et al., 2007). E, caso ocorra durante o desenvolvimento dos grãos, pode reduzir seu peso individual (Sinaki et al., 2007).

### 3.3 Vento intenso

O vento é um elemento meteorológico pouco estudado na cultura da canola. Assim, acredita-se que, do ponto de vista agrometeorológico, o vento, em princípio, afeta a canola da mesma forma que afetaria culturas semelhantes.

No caso da cultura da canola, o vento, especialmente quando muito intenso (acima de  $4 \text{ m s}^{-1}$ ), tem implicações diretas e altamente prejudiciais na fase final de maturação das síliques, mesmo antes da colheita. A síliqua da canola apresenta alta deiscência natural, fator que favorece a debulha das mesmas e a perda de grãos na lavoura. Neste estágio, o vento intensifica a perda de grãos por movimentar as plantas, provocando atrito entre síliques e, destas, com outras partes da planta. Por isso, preconiza-se o uso de estratégias de manejo da cultura da canola, como a colheita antecipada, ou seja, antes da completa maturação das síliques, logo após a maturação fisiológica dos grãos, que ocorre quando as síliques mudam da cor verde para cores mais escuras.

### 3.4 Geadas

A canola é sensível à geada no início do estabelecimento das plantas, até, aproximadamente, 30 dias após a emergência (Dalmago et al., 2007a; Dalmago et al., 2007b) e, também, durante o florescimento e, ou, o enchimento dos grãos (Thomas, 2003).

Em ambiente controlado, Dalmago et al. (2007a) verificaram que a geada simulada, para a condição de temperatura do ar de  $-6^{\circ}\text{C}$ , foi letal para todos os híbridos de canola avaliados, enquanto



intensidades de geadas, de até  $-3^{\circ}\text{C}$ , não causaram danos significativos em termos de queima de folhas e produção total de matéria seca. Nestas condições, as plântulas apresentaram capacidade de recuperação aos danos foliares, 15 dias após a simulação da geada (Dalmago et al., 2007a). A queima de folhas e, por consequência, a redução na produção de matéria seca, são os principais danos foliares observados durante o crescimento vegetativo da canola. A morte de plantas de canola acontece a partir de temperatura mínima de  $-6^{\circ}\text{C}$ , principalmente se as plantas não passaram por um período anterior de aclimação. Contudo, em temperaturas do ar inferiores a  $-3^{\circ}\text{C}$ , as plantas podem apresentar sintomas de danos pelo frio, se não forem aclimatadas.

Na floração da canola, a geada causa aborto de flores. Porém, o efeito sobre o rendimento de grãos é menor, se comparado a outras culturas de inverno, devido ao longo período de floração que a canola apresenta, variando, de 20 dias, em híbridos precoces, até mais de 45, em híbridos de ciclo longo (Tomm, 2007). Os prejuízos causados por geadas intensas, durante o florescimento, são maiores se ocorrerem no final da floração e no início de enchimento de grãos, durante a fase leitosa dos grãos. Quando o grão está com cerca de 20% de umidade, a geada praticamente não afeta mais a sua produção (Thomas, 2003). Em trabalhos realizados em ambiente controlado, Dalmago et al. (2007b) observaram queda na produção de grãos de canola, quando as plantas sofreram os efeitos da geada no florescimento. Os danos causados pela geada, tanto no início do crescimento das plantas, quanto na floração da canola, podem ser reduzidos ou até eliminados, se antes da geada ocorrer um período de frio suficiente para desencadear o mecanismo e, ou, o processo de aclimação.

O efeito nocivo de temperaturas muito baixas está condicionado à ocorrência, ou não, de períodos de aclimação antes da formação da geada, podendo levar as plantas de canola a suportarem temperaturas extremamente frias, sem danos significativos (Thomas, 2003).

A aclimação consiste em um conjunto de mudanças fisiológicas, bioquímicas e moleculares. Os principais indicadores da ocorrência deste processo são: o aumento da espessura das folhas (folhas com textura mais coriácea), o aumento da taxa fotossintética (aumento da atividade da enzima Rubisco), o estímulo à formação de morfologia mais compacta, o aumento da concentração de açúcares e a estagnação do crescimento da planta (Rapacz, 1999). Estas estratégias protegem o aparato produtivo até que o ambiente se torne novamente favorável.

A temperatura média do ar, necessária para desencadear o processo de aclimação, é variável, de acordo com a literatura consultada, situando-se entre  $7^{\circ}\text{C}$  e  $2^{\circ}\text{C}$  (Rapacz, 1999; Rapacz et al., 2001; Rife & Zeinali, 2003; Tasseva et al., 2004; Dalmago et al., 2007b). A tolerância máxima ao frio é atingida após três dias de exposição das plantas à temperatura de aclimação, em genótipos de primavera (Rife & Zeinali, 2003; Tasseva et al., 2004), podendo sobreviver a temperaturas congelantes de até  $-20^{\circ}\text{C}$  (Tasseva et al., 2004). Entretanto, existe diferença entre genótipos e tipos de canola, com materiais que conseguem manter o processo de aclimação por mais tempo, até duas semanas (Rapacz, 1999; Rife & Zeinali, 2003; Tasseva et al., 2004).

Quando exposta a períodos frios muito longos, a planta perde, progressivamente, a capacidade de aclimação, começando a partir de 80 dias de frio (Rife & Zeinali, 2003). De acordo com Rapacz et al. (2001), a perda da capacidade de aclimação já ocorre após 42 dias de aclimação constante. Segundo estes autores, isto ocorre porque, aos 42 dias, reinicia-se o processo de crescimento, o qual remove carboidratos do meio celular, alterando a condição hídrica das células e causando decréscimo da resistência à geada.

A aclimação de plantas de canola pode ser revertida (desaclimação), por um período de 7 dias de calor. Neste caso, a planta fica menos tolerante ao frio, mas não volta à condição anterior, ao começar o processo de aclimação. As plantas de canola podem recuperar novamente a condição de tolerância ao frio, depois de desaclimatadas, se forem novamente expostas à temperatura do ar de  $5^{\circ}\text{C}$ , durante 7 dias (Rife & Zeinali, 2003).

O processo de aclimação é uma interessante estratégia de proteção que a planta dispõe para períodos frios, como ocorre na Região do Sul do Brasil, onde se encontra a maior área de cultivo. Porém, nem sempre este mecanismo é eficaz, uma vez que há probabilidades de ocorrência de geadas severas, muitas vezes, no início do crescimento das plantas (geadas outonais) ou durante a floração

da cultura (geadas primaveris). Normalmente, as geadas que acontecem, nesses dois períodos, não são precedidas por condições capazes de desencadear o mecanismo de aclimação, provocando resultados devastadores para a cultura, em início de ciclo. Uma maneira de se reduzir esses danos seria posicionar a cultura no espaço e, ou, no tempo de maior probabilidade de ocorrência de condições de aclimação, principalmente durante o início do crescimento e na floração das plantas. No entanto, tais probabilidades ainda não são conhecidas, sendo necessário realizar trabalhos futuros, neste sentido.

### 3.5 Chuva excessiva e excesso hídrico prolongado

Deve-se atentar também para o excesso hídrico, principalmente durante o estabelecimento inicial da cultura e no florescimento, pois a canola não tolera solos encharcados, diminuindo o crescimento e o rendimento de grãos.

No florescimento da canola, os impactos negativos são verificados, mesmo quando as condições de encharcamento prevalecem por apenas três dias, reduzindo o número de síliquas por ramo e o número de grãos por síliqua (Thomas, 2003). As perdas de rendimento, causadas por solos encharcados, podem chegar a 50% em relação à condição de solo bem drenado (Carmody & Walton, 1998). Por isso, é importante ressaltar que a semeadura da canola não deve ser feita em áreas sujeitas ao excesso de umidade no solo.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações contidas neste texto foram, em sua maioria, compiladas da bibliografia internacional sobre a canola. Apesar desta planta vir sendo cultivada no Brasil, especialmente na Região Sul, desde 1974, as pesquisas realizadas, à época, foram voltadas para a adaptação da colza, depois canola, principalmente em ajustes de sistemas de produção.

Recentemente, com o novo impulso dado à cultura da canola, as pesquisas vêm avaliando sua inserção e adaptação aos atuais sistemas de produção, considerando os novos materiais genéticos disponíveis. Nos dois momentos em que a cultura alcançou expressão, praticamente, não foram realizadas pesquisas focadas na agrometeorologia.

Embora as informações levantadas na bibliografia internacional sejam consistentes com alguns resultados obtidos nas condições brasileiras (Tomm, 2006; Dalmago et al., 2007a; Dalmago et al., 2007b; Tomm, 2007; Dalmago et al., 2008), é necessário considerar o contexto em que tais informações foram geradas. A resposta da canola a alguns fatores ambientais é diferente, de um local para outro, dependendo do material genético utilizado, da época de semeadura, das condições de manejo da cultura e, principalmente, das diversidades nos níveis de oferta dos recursos naturais.

Assim, as informações, aqui contidas, servem como indicadores das necessidades e da resposta das plantas de canola ao ambiente e ao manejo a que são submetidas. Para uma maior segurança no uso das informações disponíveis, sempre que possível, tais informações devem ser confirmadas para as condições locais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSEN, E. J.; COFFELT, T. A. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. **Industrial Crops and Products**, St. Louis, v. 21, p. 293-307, 2005.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

BLACKSHAW, R. E. Soil temperature and moisture effects on downy brome vs. Winter canola, wheat, and rye emergence. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 1034-1040, 1991.

CAMPBELL, C. D.; KONDRÁ, Z. P. Growth pattern analysis of three rapeseed cultivars. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 57, p. 707-712, 1977.

CARMODY, P.; WALTON, G. Canola: soil and climatic requirements. In: MOORE, G. (Ed.). **Soil guide: a handbook for understanding and managing agricultural soils**. Perth: Agriculture Western Australia, 1998. (Bulletin, 4343).

DAHANAYAKE, S. R.; GALWEY, N. W. Effects of interactions between low-temperature treatments, gibberellin (GA<sub>3</sub>) and photoperiod on flowering and stem height of spring rape (*Brassica napus* var. *annua*). **Annals of Botany**, London, v. 84, p. 321-327, 1999.

DALMAGO, G. A. et al. Aclimação e intensidade de geada em canola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007a. 1 CD-ROM.

DALMAGO, G.A. et al. Efeito da geada em canola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007b. 1 CD-ROM.

DIAS, J. C. A. **Canola/colza**: alternativa de inverno com perspectiva de produção de óleo comestível e energético. Pelotas: Embrapa-CPATB, 1992. 46 p. (Embrapa-CPATB. Boletim de Pesquisa 3).

DOORENBOS, J.; PERUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1992. 144 p. (FAO irrigation and drainage paper, n. 24).

DOWNEY, R. K. Canola: A quality *Brassica* oilseed. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Ed.). **Advances in new crops**. Portland: Timber Press, 1990. p. 211-217. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/V1-211.html>>. Acesso em: 26 jun. 2008.

FARRÉ, I. et al. Simulating phenology and yield response of canola to sowing date in Western Australia using the APSIM model. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 53, p. 115-1164, 2002.

FOWLER, D. B.; LIMIN, A. E.; RITCHIE, J. T. Low-temperature tolerance in cereals: model and genetic interpretation. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 626-633, 1999.

GILL, N. T.; VEAR, K. C. **Botânica agrícola**. Zaragoza: Editorial Acribia. 1965. p. 127-148.

IBARRA, M. A. I. et al. Determinación de la evapotranspiración y coeficientes de ajuste por desarrollo de la canola en lisímetro de pesada. **Agrofaz**, Venecia, p. 37-43, 2005. Edición especial.

IRIARTE, L. B. **Colza**: cultivares, fechas de siembra. Tres Arroyos: Chacra Experimental Integrada Barrow, 2002. Disponível em: <<http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/nota%20colza.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2008.

IRIARTE, L.; LÓPES, Z.; VALETTI, O. Influencia de la temperatura sobre el cultivo. In: IRIARTE, L.; VALETTI, O. (Ed.). **Cultivo de colza**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária – INTA, 2008b. 156 p.

IRIARTE, L.; VALETTI, O.; APPELLA, C. Descripción de la planta. In: IRIARTE, L.; VALETTI, O. (Ed.). **Cultivo de colza**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária – INTA, 2008a. 156 p.

JOLY, A. B. **Botânica**: introdução a taxonomia vegetal. 2. ed. São Paulo: Ed. USP, 1975. p. 345-351.

JUSTES, E. et al. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of Winter oilseed rape. **European Journal of Agronomy**, St. Louis, v. 13, p. 165-177, 2000.

KING, J. R.; KONDRA, Z. P. Photoperiod response of Spring oilseed rape (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 13, p. 367-373, 1986.

KINIRY, J. R. et al. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 51-64, 1989.

KONDRA, Z. P.; CAMPBELL, D. C.; KING, J. R. Temperature effects on germination of rapeseed (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 63, p. 377-384, 1983.

LARDON, A.; TRIBOI-BLONDEL, A. M. Cold and freeze stress at flowering effects on seed yields in Winter rapeseed. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 44, n. 2/3, p. 95-101, 1995.

McVETTY, P. B. E.; AUSTIN, R. B.; MORGAN, C. L. A comparison of the growth, photosynthesis, stomatal conductance and water use efficiency of *moricaudia* and *Brassica* Species. **Annals of Botany**, London, v. 64, p. 87-94, 1989.

MEIER, U. et al. **Monografía BBCH**: estadios de las plantas mono-y dicotiledóneas. 2. ed. Uwe Meier: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura, 2001. 72 p.

MENDHAM, N. J.; RUSSEL, J.; JAROSZ, N. K. Response to sowing time of three contrasting Australian cultivars of oilseed rare (*Brassica napus*). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 114, p. 275-283, 1990.

MERLE, F. V.; ANDERSON, R. L.; BEARD, W. E. B a s e temperature and Growing-Degree-Hour requirements for the emergence of canola. **Crop Science**, Madison, v. 37, p. 844-849, 1997.

MILROY, S. P.; ASSENG, S.; POOLE, M. L. Root growth of canola and wheat in the deep, yellow sands of the northern sandplain of the Western Australian wheat belt. In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE CONGRESS, 4., 2004, Brisbane. **Proceedings...** Disponível em: <[http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/1/3/1/770\\_milroy.htm](http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/1/3/1/770_milroy.htm)>. Acesso em: 17 fev. 2009.

MORRISON, M. J. Heat stress during reproduction in Summer rape. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 71, p. 303-308, 1993.

MORRISON, M. J.; McVETTY, P. B. E.; SHAYKEWICH, C. F. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 69, p. 455-464, 1989.

MORRISON, M. J.; STEWART, D. W. Heat stress during flowering in summer brassica. **Crop Science**, Madison, v. 42, p. 797-803, 2002.

MORRISON, M. J.; STEWART, D.W. Radiation use efficiency in summer rape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 1139-1142, 1995.

NANDA, R.; BHARGAVA, S. C.; RAWSON, H. M. Effect of sowing date on rates of leaf appearance, final leaf numbers and areas in *Brassica campestris*, *B. Juncea*, *B. Napus* and *B. Carinata*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 42, p. 125-134, 1995.

NANDA, R. et al. Phenological development of *Brassica campestris*, *B. juncea*, *b. napus* and *B. carinata* grown in controlled environments and from 14 sowing dates in the field. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 46, p. 93-113, 1996.

NYKIFORUK, C. L.; JOHNSON-FLANAGAN, A. M. Germination and early seedling development under low temperature in canola. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1047-1054, 1994.

NYKIFORUK, C. L.; JOHNSON-FLANAGAN, A. M. Storage reserve mobilization during low temperature germination and early seedling growth in *Brassica napus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 37, n. 12, p. 939-947, 1999.

ORTEGÓN-MORALES, A. S.; DÍAZ-FRANCO, A.; GONZÁLEZ-QUINTERO, J. Cultivares de canola y su interacción con el ambiente y el método de siembra. **Universidad Y Ciencia**, Tabasco, v. 23, n. 1, p. 21-28, 2007.

RAPACZ, M. Frost resistance and cold acclimation abilities of spring-type oilseed rape. **Plant Science**, Amsterdam, v. 147, p. 55-64, 1999.

RAPACZ, M.; TOKARZ, K.; JANOWIAK, F. The initiation of elongation growth during long-term low-temperature stay of spring-type oilseed rape may trigger loss of frost resistance and changes in photosynthetic apparatus. **Plant Science**, Amsterdam, v. 161, p. 221-230, 2001.

RIFE, C. L.; ZEINALI, H. Cold tolerance in oilseed rape over varying acclimation durations. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 96-100, 2003.

ROBERTSON, M. J. et al. Growth and yield differences between triazine-tolerant and non-triazine-tolerant cultivars of canola. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 53, p. 643-651, 2002a.

ROBERTSON, M. J. et al. Environmental and genotypic control of time to flowering in canola and Indian mustard. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 53, p. 793-809, 2002b.

SCHULTZ, A. R. H. **Introdução à botânica sistemática**. 5. ed. rev. Porto Alegre: Ed. UFRGS. 1985. p. 131-133.

SHAYKEWICH, C. F. **Estimation of ground cover and phenological development of canola from weather data**. Winnipeg: University of Manitoba. Agricultural-Food Research and Development Initiative, 2001. Disponível em: <<http://www.gov.mb.ca/agriculture/research/ardi/projects/98-201.html>>. Acesso em: 12 fev. 2007.

SI, P.; WALTON, G. H. Determinants of oil concentration and seed yield in canola and Indian mustard in the lower rainfall areas of Western Australia. **Australian Journal of Agricultural Research, of Agricultural Research**, Victoria, v. 55, p. 367-377, 2004.

SINAKI, J. M. et al. The effects of water deficit growth stages of canola (*Brassica napus* L.). **American-Eurasian Journal Agricultural & Environment Science**, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 417-422, 2007.

SISTEMA de produção para a colza oleaginosa. **Trigo e Soja**, Porto Alegre, n. 55, p. 3-11, 1981.

TASSEVA, G. et al. Changes in the endoplasmic reticulum lipid properties in response to low temperature in *Brassica napus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 42, p. 811-822, 2004.

TESFAMARIAM, E. H. **Modelling the soil water balance of canola *Brassica napus* L (Hyola 60)**. 2004. 120 f. Dissertation (Masters in Irrigation)–Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of Pretoria.

THOMAS, P. **The Growers' manual**. Winnipeg: Canola Council of Canada, 2003. Disponível em: <[http://www.canolacouncil.org/canola\\_growers\\_manual.aspx](http://www.canolacouncil.org/canola_growers_manual.aspx)>. Acesso em: 14 maio 2007.

TOMM, G. O. Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, n. 94, p. 4-8, jul./ago. 2006.

TOMM, G. O. **Indicativos tecnológicos para a produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 68 p. (Embrapa Trigo. Sistema de produção, 4).

TOMM, G. O. et al. Desempenho de genótipos de canola em Goiás, em 2004. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 11 p. (Comunicado técnico online, 118). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p\\_co118.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co118.htm)>. Acesso em: 17 jun. 2007.

TOMM, G. O. et al. **Desempenho de genótipos de canola (*Brassica napus* L.) no nordeste do estado da Paraíba, nordeste do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 15 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 65). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp65.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp65.htm)>. Acesso: 3 abr. 2009.

WACHSMAN, N. et al. The comparative growth, yield, and water use of safflower, linola™, mustard, canola and wheat in Southern Australia. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 11., 2003, Brisbane. **Proceedings...** Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/asa/2003/c/4/wachsmann.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2009.

WALTON, G. Phenology, physiology and agronomy. In: INTERNATIONAL RAPSEED CONGRESS, 10., 1999, Cambera. **Proceedings...** Cambera: Regional Institute, 1999. Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/gcirc>>. Acesso em: 27 fev. 2008.

WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração da colza (*Brassica napus* L.) através de evapotranspirômetros “tipo Thorntwaithe”. In: REUNIÃO ANUAL DE PROGRAMAÇÃO DE PESQUISA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA DA COLZA, 1982, Porto Alegre. **Resultados de Pesquisa...** Porto Alegre: Instituto de Pesquisa Agrônômica, 1982. p. 73-80.

WRIGHT, G. C.; SMITH, C. J.; WOODROOFE, M. I. R. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in south-eastern Australia. I. Growth and seed yield. **Irrigation Science**, New York, v. 9, p. 1-13, 1988.

XIN, Z.; BROWSE, J. Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. **Plant, Cell and Environment**, Maiden, v. 23, n. 9, p. 893-902, 2000.



# CEBOLA

Foto: Andrei Rachov





## 1. INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das hortaliças mais importantes e de mais ampla difusão no mundo. É extremamente versátil em termos alimentares e culinários, sendo utilizada para consumo *in natura*, sob a forma de saladas e como condimento, possivelmente o tempero mais utilizado no Planeta. É a segunda hortaliça em importância econômica no mundo, após o tomate. Os primeiros registros de seu cultivo datam de cerca de 4.000 anos e foram encontrados no Egito, indicando que a domesticação da cebola iniciou-se muito tempo antes, sendo uma das hortaliças de uso mais antigo (Fritsch & Friesen, 2002). Devido a suas características de boa conservação pós-colheita, a cebola é, provavelmente, uma das hortaliças com maior trânsito global, estando envolvida em transações comerciais entre países de todos os continentes.

### Classificação botânica

Embora alguns botânicos defendam outras classificações, a combinação de dados morfológicos e moleculares tem posicionado cerca de 750 espécies, do gênero *Allium*, na família monofilética *Alliaceae*, que é estreitamente relacionada com a família *Amaryllidaceae*. Assim, o gênero *Allium* ocupa, atualmente, a seguinte classificação botânica: Classe: *Liliopsida*; Subclasse: *Liliidae*; Superordem: *Lilliana*; Ordem: *Amaryllidales*; Tribo: *Allieae*; Família: *Alliaceae*; Gênero: *Allium* (Fritsch & Friesen, 2002). O gênero *Allium* inclui, além da cebola (*A. cepa* L.), várias outras espécies de hortaliças de importância econômica, tais como o alho (*A. sativum* L.), a cebolinha (*A. fistulosum* L.), o alho porró (*A. ampeloprasum* L.), o “rakkyo” (*A. chinense* G. Don.), a cebolinha verde francesa (*A. schoenoprasum* L.), o Nirá ou cebolinha chinesa (*A. tuberosum* L.), bem como diversas espécies ornamentais.

O germoplasma de *A. cepa* L. é constituído por populações locais e por cultivares desenvolvidas ao longo dos séculos, para adaptação e cultivo em distintas latitudes, áreas geográficas, sistemas de produção e preferências de consumo. Além da cebola de bulbos graúdos, que se constitui no tipo comercial predominante, a espécie inclui o echalote e a cebola multiplicadora, que produzem bulbos pequenos e agregados.

### Origem, introdução e importância da cebola no Brasil

Vavilov (1951), citado por McCollum (1974), sugeriu as áreas desérticas, englobando regiões do atual Paquistão, do Afeganistão e do Irã, como prováveis centros de origem das cebolas. As espécies mais próximas são *A. galanthum* e *A. vavilovii*, que ainda podem ser encontradas em estado silvestre, em áreas da antiga União Soviética e no Afeganistão (Goldman et al., 2000). À exceção de *A. dregeanum*, originária do Hemisfério Sul, todas as demais espécies conhecidas do gênero *Allium* estão distribuídas em altas latitudes do Hemisfério Norte, desde o Círculo Polar Ártico até o Continente Europeu, Ásia, América do Norte e Norte da África.

A cultura da cebola figura entre as primeiras plantas introduzidas na América, a partir da Europa, trazida, inicialmente, por Cristóvão Colombo, para o Caribe (Fritsch & Friesen, 2002). O início do cultivo de cebola no Brasil ocorreu com a colonização portuguesa e expandiu-se após a chegada de imigrantes açorianos, que colonizaram a região de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, e Itajaí, em Santa Catarina, durante o século XVIII e início do século XIX (Melo et al.,

---

1- Pesquisador, EMBRAPA – Hortaliças, Caixa Postal 218, 70359-970, Brasília, DF. E-mail: valter@cnph.embrapa.br.



1988; França & Candeia, 1997). Das cebolas introduzidas pela Europa, desenvolveram-se, por seleção natural e pela ação de agricultores de Rio Grande e região, os tipos “Baia Periforme” e “Pêra Norte”, no Rio Grande do Sul e, “Crioula”, na região do Alto Vale do Itajaí, em Santa Catarina (Costa, 1997).

As áreas de produção de cebola no Brasil ampliaram-se com a criação de programas de melhoramento genético de cebola, no Rio Grande do Sul e em São Paulo, iniciados por volta de 1940, e, posteriormente, em Pernambuco, em 1972. Com o programa de melhoramento de cebola no Nordeste, coordenado pela Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), cebolas do tipo “Baia Periforme” foram selecionadas para condições de cultivo nas latitudes entre 8° e 9°, ou seja, sob condições de dias curtos e calor constante, predominantes na região do Vale do Rio São Francisco (Candeia & Costa, 2000).

Na safra de 2008, a produção de cebola no Brasil alcançou 1.297 mil toneladas. A área plantada foi de 63,6 mil hectares, com produtividade média de 20,4 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2009). A produção de cebola, no Brasil, está concentrada nos três Estados da Região Sul, nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, na Região Sudeste, na Bahia e em Pernambuco, na Região Nordeste e, no Estado de Goiás, na Região Centro-Oeste. As diferenças regionais em cultivares, área plantada, produtividade e uso de tecnologias de produção são muito grandes e devem-se, entre outros fatores, às variações climáticas das regiões produtoras.

### Morfologia da planta

A cebola, para a produção de bulbos, a partir das sementes, é de ciclo anual e, bianual, para a produção de sementes, a partir dos bulbos. A bianualidade, para a produção de sementes, deve-se ao fato de o florescimento ser dependente do acúmulo de horas de frio. Nas regiões de origem, a cebola cresce entre a primavera e o outono (fase vegetativa), entrando em dormência durante os meses de inverno, só rebrotando na primavera seguinte, para a emissão do escapo floral (fase reprodutiva). No Brasil, a exigência em frio é atendida, naturalmente, em regiões com invernos mais rigorosos, como nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, ou por meio da vernalização artificial dos bulbos, em câmaras frias, em regiões onde não há acúmulo suficiente de horas de frio.

A planta é herbácea e as folhas são basais, incompletas, invaginantes, subuladas e constituídas de duas partes distintas: uma basal ou bainha, e outra, superior ou limbo redondo e oco. As bainhas das folhas exteriores se mantêm como membranas coriáceas e brilhantes, atuando como protetoras das bainhas das folhas mais internas. Estas se mantêm intumescidas e sobrepostas, acumulando substâncias de reserva. Não existem folhas nos escapos florais e, tanto os escapos quanto as folhas são cobertos por uma camada cerosa.

O caule é de formato discoidal, com entrenós muito curtos, constituindo a base do bulbo. O sistema radicular é do tipo fasciculado, formado por raízes adventícias, que são continuamente produzidas ao redor do caule, durante o ciclo vegetativo. Quando novas raízes são produzidas, raízes velhas, próximas ao centro do caule, morrem.

Embora cultivares de cebola apresentem diferenças, no balanço sistema radicular *versus* parte aérea, via de regra, 90% das raízes de cebola concentram-se nos primeiros 40 cm de profundidade e, apenas 2 a 3%, ocorrem abaixo de 60 cm (Greenwood et al., 1982). As raízes são tenras, finas, pouco ramificadas e bem providas de pêlos radiculares, no terço médio inferior. Durante os 15 dias que antecedem o início da bulbificação, a quantidade de raízes, nos primeiros 20 cm de profundidade, duplica ou até mesmo triplica, indicando ser, este período, crítico para o fornecimento de água, visando a boa produção de bulbos (Bosch Serra & Currah, 2002).

### Bulbificação da cebola e época de cultivo

O fotoperíodo e sua interação com a temperatura são os fatores climáticos que controlam

a formação de bulbos na cebola. A cebola é fisiologicamente de dias longos para bulbificação e, de modo geral, não bulbifica em dias com duração inferior a 10 horas de luz (Bosch Serra & Currah, 2002). Sob fotoperíodos muito curtos, as plantas produzem folhas continuamente e não bulbificam, mesmo após períodos longos de crescimento. Satisfeitas as exigências em fotoperíodo, tem início a mobilização de reservas para a base das folhas e consequente formação do bulbo, independentemente do tamanho da planta. Existem cultivares específicas e adaptadas para cultivo nas diferentes faixas de latitude.

Ainda que a duração do dia seja o fator principal para a indução, formação e maturação de bulbo, seus efeitos são modificados por outros fatores, especialmente pela temperatura. A bulbificação inicia-se apenas quando a combinação dos fatores determinantes, fotoperíodo e temperatura, de cada cultivar, é atingida, e, de modo geral, a taxa de bulbificação é diretamente proporcional ao fotoperíodo e à temperatura (Brewster, 1997). No aspecto reprodutivo, a temperatura é o fator meteorológico mais importante na passagem das plantas, da condição vegetativa para a reprodutiva. Para induzir o florescimento, é necessário expor as plantas, ou os bulbos, a um período prolongado de frio, sendo tal exigência variável com cada cultivar e tamanho da planta.

À semelhança das demais hortaliças cultivadas em condições de campo aberto no Brasil, o período de março a novembro concentra a maior parte da produção de cebola, nas principais regiões produtoras. Neste período, as temperaturas são menores, principalmente, as noturnas, e a ausência de longos períodos chuvosos facilita o manejo da cultura, principalmente o controle de doenças, propiciando a produção de bulbos de melhor qualidade. A Região Nordeste, Bahia e Pernambuco, principalmente, é exceção, pois planta-se cebola o ano todo sob irrigação, embora, como nas demais regiões, considera-se o período de setembro a março como o mais adverso à cebola, em termos climáticos.

Plantando-se em março-abril, o crescimento ocorre sob condições adequadas de temperatura e de encurtamento de fotoperíodo, mas, ainda, suficientemente longo para o crescimento rápido das plantas. A partir do final de junho, o fotoperíodo volta a crescer, embora a temperatura continue decrescendo. A bulbificação inicia-se-á quando o fotoperíodo e a temperatura, exigidos pela cultivar, forem atendidos.

## 1.1 Fenologia

Na Tabela 1 estão descritas as fases de crescimento vegetativo da cebola e os códigos correspondentes, conforme proposto pela “International Union for the Protection of New Varieties of Plants – UPOV” nas orientações para condução de testes de distinguibilidade, uniformidade e estabilidade de cebola (*Allium cepa* L.) e echalote (*Allium ascalonicum* L.) (UPOV, 1999). Os números correspondentes aos estádios de crescimento referem-se ao número aproximado de dias, considerando cultivares de ciclo vegetativo em torno de 135 dias.

As sementes de cebola, de modo geral, demoram mais tempo para germinar e emergir que a maioria das espécies hortaliças. Após a emergência, a fase de plântulas é caracterizada também por crescimento relativamente lento, onde novas folhas e raízes são continuamente produzidas (Tabela 1). Completada esta fase, inicia-se a fase adulta ou de planta, caracterizada como de crescimento relativamente rápido do dossel, onde novas folhas continuam sendo produzidas até o início da bulbificação.

Iniciada a fase de crescimento de bulbo, há paralisação do crescimento das folhas, que já possuem limbo, continuando o crescimento apenas da base das folhas sem limbo e que estão localizadas mais internamente às folhas mais antigas, tornando-se o pseudocaule oco (Brewster, 1997). Por isso, o tamanho do bulbo na colheita é bastante influenciado pelo tamanho e pelo número de folhas na planta, sendo importante que o estímulo do fotoperíodo apenas ocorra após a planta ter atingido determinado grau de crescimento, para que esteja apta a produzir um bulbo grande e bem formado. O espessamento das bainhas, e consequente formação do bulbo, ocorrem com o predomínio do processo de expansão celular sobre o processo de divisão celular.

**Tabela 1. Códigos das fases de crescimento da cebola, de semente a bulbo (vegetativa), considerando cultivares com ciclo de 135 dias. Adaptado de UPOV (1999).**

Fases de crescimento	Descrição
Germinação	00 Semente seca
	0 Germinação
Crescimento de plântulas	10 Plântula emergida no estágio de “chicote”
	15 Plântula com tegumento acima da superfície do solo e ainda ligada ao cotilédone
	20 Emergência da primeira folha verdadeira
	25 Estádio de segunda folha verdadeira
	30 Estádio de terceira folha
	35 Estádio de quarta folha
	40 Estádio de quinta folha
	45 Estádio de sexta folha
Crescimento da planta	50 Estádio de sétima folha, primeira folha senescente
	55 Estádio de oitava folha
	65 Estádio de décima folha, 2ª e 3ª folhas senescentes; início do crescimento de bulbo
	100 Expansão completa das folhas é atingida; crescimento de bulbo continua
	105 Início do tombamento das folhas (“estalo”), murchamento do pseudocaule
	115 Folhas secas; tamanho de bulbos continua a aumentar; escurecimento das escamas
135 Bulbos maduros e no ponto de colheita	
150 Folhas completamente secas; ápice do bulbo (“pescoço”) seca, fechando-se para dormência	



À medida que novas folhas são produzidas, as folhas mais velhas morrem, de modo que, três a quatro folhas secam e desaparecem, ou suas bases permanecem como membranas coriáceas, quando os bulbos amadurecem.

Completado o crescimento dos bulbos, o pseudocaule amolece e as folhas tombam, o que é comumente chamado de “estalo”, indicando maturação. Tem-se adotado como indicativo da data de colheita de um campo de cebola quando, pelo menos, 50% das plantas encontram-se tombadas. Entretanto, os bulbos continuam a ganhar massa, mesmo após o tombamento da parte aérea, pois inibidores, elementos minerais e fotoassimilados remanescentes no limbo foliar, continuam sendo translocados para os bulbos através do sistema vascular do pseudocaule, até as folhas secarem completamente.

Na figura 1 está representado o acúmulo de matéria seca pela “Alfa Tropical”, cultivar de cebola do tipo “Baia Periforme”, adaptada às condições de verão das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. O crescimento da “Alfa Tropical” é lento nos primeiros 74 dias, acumulando cerca de 10% da matéria seca, ao final deste período. O crescimento dos bulbos é acelerado nos últimos 30 dias do ciclo, quando o acúmulo de matéria seca, aproximadamente, quadruplica-se (Vidigal et al., 2002).

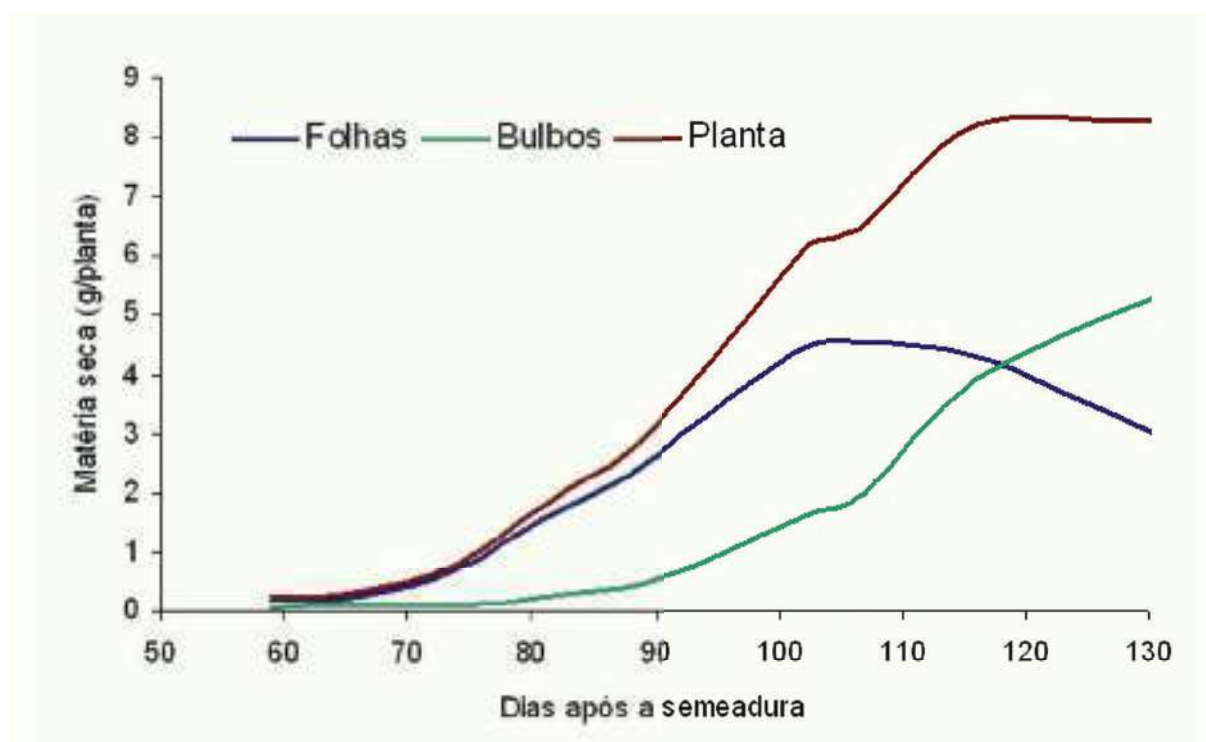


Figura 1. Acúmulo de matéria seca pela cultivar de cebola Alfa Tropical, com ciclo de 130 dias, em função da idade da planta. Fonte: Vidigal et al. (2002).

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade Hídrica

A profundidade do sistema radicular da cebola pode ser afetada pelo regime de irrigação, sendo menor em áreas irrigadas mais frequentemente que o necessário. Para cultivares tardias, plantadas em regiões onde o ciclo de desenvolvimento atinja em torno de 200 dias, ou mais, a profundidade efetiva do sistema radicular pode atingir 60 cm, em solos sem impedimentos químicos e físicos (Shock et al., 2007). Todavia, para a maioria das condições de cultivo, a profundidade efetiva máxima encontra-se em torno de 40 cm (Greenwood et al., 1982). Para as principais regiões produtoras de cebola no Brasil, a profundidade efetiva varia, em termos gerais, de 5 a 10 cm, durante a fase inicial (fase de plântula), de 15 a 25 cm, durante a fase vegetativa (fase de crescimento, antes do início da bulbificação) e, de 30 a 40 cm, durante as fases de crescimento e maturação de bulbos (Marouelli et al., 2005). A profundidade tende a ser ligeiramente maior em solos arenosos que em solos argilosos.

Como a profundidade radicular varia conforme a textura, estrutura e fertilidade do solo, dentre outros fatores, Marouelli et al. (2005) recomendam uma avaliação visual das raízes, no próprio local de cultivo, por meio da abertura de uma trincheira perpendicular à fileira de plantas.

A cultura de cebola apresenta baixa tolerância ao déficit hídrico, requerendo um bom suprimento de água durante todo o ciclo de cultivo. A fase de crescimento de bulbo é a mais sensível ao déficit hídrico, principalmente durante o período de rápido espessamento das bainhas (Sanders, 1997; Pelter et al., 2004; Marouelli et al., 2005). Cultivos submetidos a déficits hídricos moderados (tensões de água no solo entre 70 e 100 kPa) podem ter a produtividade de bulbos reduzida de 25 a 30% (Pelter et al., 2004). A falta de água também é crítica no período imediatamente após o transplante de mudas.

O valor médio do fator de resposta da cultura ao déficit hídrico ( $K_y$ ), para a cebola, é de 0,45, durante a fase de crescimento de plantas, de 0,80, durante a fase de crescimento de bulbo e, de 0,30, durante a fase de maturação, sendo de 1,10 o valor médio ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento (Doorenbos & Kassam, 1979).

Os valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), para sistemas de irrigação com 100% de molhamento superficial do solo (aspersão), variam entre 0,55 e 0,70, durante a fase de plântulas, de 0,75 a 0,85, durante a fase de crescimento de plantas, de 1,00 a 1,10, durante a fase de crescimento de bulbo e, de 0,65 a 0,75, durante a fase de maturação (Santos, 1997; Allen et al., 1998; Marouelli et al., 2005).

O valor de  $K_c$ , durante a fase de plântulas, é altamente dependente do molhamento superficial do solo, pois a evaporação do solo é o processo predominante na evapotranspiração da cultura. Assim, em condições que requerem irrigações diárias, o  $K_c$ , durante esta fase, pode atingir valores entre 1,05 e 1,15, enquanto, para irrigações em dias alternados, o  $K_c$  varia entre 0,80 e 0,90 (Allen et al., 1998; Marouelli et al., 2005).

No caso de sistema de plantio direto ou cultivo mínimo (semeadura direta ou transplante de mudas em palhada), os valores de  $K_c$  devem ser reduzidos, para compensar o efeito da palhada na redução da evaporação do solo. Durante a fase inicial, deve-se reduzir entre 25 e 50% e, durante a fase de maturação, entre 5 e 15%, dependendo da quantidade de palhada (Marouelli et al., 2008).

O fator de disponibilidade de água no solo ( $f$ ), recomendado para a cultura da cebola, na irrigação por aspersão, varia de 0,25 a 0,30, para solos de textura fina, e, até 0,45 a 0,50, para solos de textura grossa. Para irrigação por sulco, considera-se um fator de disponibilidade entre 0,40 e 0,60 e, para gotejamento, entre 0,15 e 0,25, sendo o maior valor para solos arenosos (Marouelli et al., 2005). Para o controle de irrigação, com base na tensão matricial de água no solo, as irrigações devem ser realizadas quando a tensão atingir um valor limite entre 7 e 15 kPa, para solos arenosos e, entre 20 e 40 kPa, para solos de textura média e fina, sendo os menores valores para a fase de crescimento de bulbo. Na irrigação por gotejamento, deve-se considerar a faixa de tensão-limite entre 7 e 20 kPa (Marouelli et al., 2005; Shock et al., 2007).

Ao contrário de outras espécies, as plantas de cebola geralmente não murcham quando submetidas a condições de deficiência hídrica. Assim, sintomas imediatos de deficiência hídrica moderada são difíceis de ser visualizados, em condições de campo (Bosch Serra & Currah, 2002). O déficit hídrico severo geralmente está associado à ligeira perda de turgidez e à coloração verde-acinzentada das folhas; já os sintomas posteriores de resposta à deficiência hídrica incluem redução no tamanho das folhas e dos bulbos, com conseqüente redução de produtividade e aumento de pungência (Marouelli et al., 2005).

A cultura da cebola também pode ter o crescimento comprometido sob condições de excesso de água, especialmente em solos com drenagem deficiente (Marouelli et al., 2005). Além de atraso na maturação dos bulbos, o rendimento é seriamente comprometido quando as plantas são submetidas a condições de solo saturado, por mais de 12 horas (Marouelli & Silva, 1991). Apesar disso, a cultura tem sido irrigada por inundação temporária, em pequenos tabuleiros, no Vale do Rio São Francisco, porém, com produtividade, geralmente, reduzida (Soares & Possidio, 1995).

A produtividade máxima de bulbos, tanto da cebola quanto de qualquer cultura, é obtida quando as irrigações são realizadas sempre que o potencial de água no solo e, ou, na planta atinge determinado valor crítico. Com a redução do potencial de água no solo e, ou, na planta, a partir deste valor crítico, há redução gradativa da produtividade. Todavia, dependendo de vários fatores, como sistema de irrigação

e suscetibilidade a doenças, a produtividade pode ser restringida, ainda que para potenciais elevados de água no solo. Além de afetar a produtividade e a qualidade de bulbos, o regime de irrigação afeta, significativamente, a necessidade hídrica das plantas e, conseqüentemente, a evapotranspiração da cultura. No caso da cultura de cebola, a produtividade máxima é obtida quando as irrigações são realizadas de forma a maximizar a evapotranspiração, ou seja, quando o teor de água no solo é mantido próximo à capacidade de campo.

## 2.2 Temperatura

O crescimento da cebola, que se estende da emergência de plântulas até o crescimento completo de folhas, é controlado, principalmente, pela temperatura. A bulbificação, por sua vez, é controlada pelo comprimento do dia e sua interação com a temperatura, a intensidade e a qualidade da radiação.

A velocidade de germinação da cebola aumenta quase linearmente com a temperatura, na faixa de 5 a 25°C. Considerando-se a velocidade, a porcentagem de germinação e a emergência em solos úmidos, a faixa ótima de temperatura para a cebola é de 20 a 25°C (Brewster, 1997; Voss et al., 1999). Temperaturas baixas limitam a germinação das sementes, sendo 2°C a temperatura mínima para que as sementes de cebola germinem (Voss et al., 1999). A necessidade térmica, para que as cebolas atinjam o estágio de 50% de plântulas visíveis em solo úmido, é de, no mínimo, 140 graus-dia acima da temperatura basal mínima de 1,4°C (Finch-Savage, 1986).

A faixa ótima de temperatura, para o crescimento foliar é de 20 a 25°C, sendo 6°C a temperatura basal, abaixo da qual o crescimento foliar cessa. Na faixa de 6 a 20°C, a taxa de crescimento foliar aumenta linearmente (Brewster, 1997).

Ainda que a duração do dia seja o fator principal para a indução, formação e maturação do bulbo, seus efeitos são modificados pela temperatura. Com o aumento da temperatura, o tempo necessário para o início da bulbificação e para o completo crescimento do bulbo diminui, mas não ocorre bulbificação se o comprimento do dia for insuficiente, mesmo sob temperaturas altas (Brewster, 1997). Daymond et al. (1996) observaram incremento produtivo e respostas diferenciadas entre as cultivares Sito e Hysam, à medida que se elevou a temperatura. Wurr et al. (1998) observaram aumento linear na produção de cebola com o aumento da temperatura média, na faixa de 12 a 18°C. Lancaster et al. (1996), estudando a bulbificação em duas cultivares de cebola de dias longos ("Pukekohe Longkeeper" e "Early Longkeeper"), concluíram que o tempo para início da bulbificação e o diâmetro do bulbo apresentam relação direta com o acúmulo térmico, desde a emergência até o início da bulbificação e que, a bulbificação das cultivares inicia-se apenas com um mínimo de 600 graus-dia acumulados e um fotoperíodo de 13,75 h.

Temperaturas diurnas altas são mais eficientes em promover a bulbificação que temperaturas noturnas altas. Temperaturas acima de 35°C, durante a fase inicial de crescimento das plantas, podem promover a bulbificação precoce, sendo um dos inconvenientes do plantio de verão, no Brasil. A bulbificação, que atinge um máximo em torno de 38°C, cessa quando a temperatura cai abaixo de 10°C (Randon & Lancaster, 2002). Temperaturas baixas podem alongar o fotoperíodo crítico e prejudicar a formação dos bulbos. O engrossamento do pseudocaule é favorecido quando as plantas são expostas a breves períodos de frio extremo (<6°C).

A temperatura é o fator meteorológico mais importante na passagem das plantas de cebola, da condição vegetativa para a reprodutiva. Plantas de cebola possuem uma fase juvenil para florescimento bem definida, que termina quando elas atingem determinada idade fisiológica, ou seja, determinada massa de parte aérea ou determinado número de folhas (Brewster, 1997). Para florescerem, plantas de cebola precisam estar fisiologicamente aptas e serem expostas a períodos prolongados de frio, para induzir a iniciação floral. De modo geral, a ocorrência de temperaturas entre 5 e 13°C, por pelo menos 30 dias, provocam florescimento ("bolting"), sendo que, cultivares tropicais são normalmente menos exigentes em frio que cultivares de clima temperado (Currah & Proctor, 1990; Voss et al., 1999; Rabinowitch & Kamenetsky, 2002). A ocorrência de florescimento, embora essencial em culturas destinadas à produção de sementes, é indesejável em culturas destinadas à produção de bulbos.

Plantas de maior porte requerem menor tempo de exposição a baixas temperaturas, para a iniciação floral e o florescimento pleno. Isto pode estar associado ao maior índice de área foliar (IAF), sugerindo que o fator luz pode ser, parcialmente, responsável, possivelmente envolvendo mudanças na qualidade da luz, sob alto IAF (Bosch Serra & Domingo Olivé, 1999). Logo, práticas culturais que favoreçam maior crescimento de plantas, tais como plantio precoce e adubação em excesso no início do ciclo, devem ser evitadas quando existe a possibilidade de temperaturas muito baixas, que favorecem o florescimento, situação indesejada quando se deseja produzir bulbos.

### 2.3 Radiação solar

Estudos envolvendo radiação solar, em cebola, são escassos e abordam, principalmente, os efeitos sobre a bulbificação. No aspecto fisiológico, a bulbificação da cebola, em dado fotoperíodo, depende da intensidade e da qualidade espectral da luz incidente, envolvendo o sistema de pigmento fitocromo. Todos os aspectos relacionados à bulbificação da cebola são acelerados quando a relação entre o vermelho (V) e o vermelho-distante (VD), da luz incidente de fotoperíodos indutivos, diminui (Mondal et al., 1986). Logo, o fotoperíodo mínimo necessário para induzir a bulbificação e a taxa de bulbificação, em uma intensidade de luz específica, depende da razão entre V e VD. Um fotoperíodo não indutivo, sob alta relação V/VD, pode se tornar indutivo, sob baixa relação V/VD (Brewster, 1997).

Quando as plantas crescem, o IAF aumenta, e a relação entre V e VD reduz-se à medida que a luz atravessa o dossel, pois as folhas absorvem luz, na faixa do V, mais eficientemente que na faixa do VD. Como consequência, há aumento na taxa de bulbificação à medida que a intensidade de competição, entre plantas, aumenta (Brewster, 1997). Sob boas condições de fertilização e suprimento hídrico às plantas, há aumento na produção e aceleração na maturação de bulbos, para cultivos com maiores densidades de plantas, devido ao aumento no IAF e na interceptação de luz V, pelo dossel.

O fitocromo existe em duas formas isoméricas,  $P_{660}$  e  $P_{730}$ . O  $P_{730}$  é geralmente considerado sua forma ativa e, em muitas aliáceas, incluindo a cebola, estimula a formação do bulbo, promovendo a movimentação e acumulação de substâncias de reserva para a base das folhas. A bulbificação prematura, na fase de produção de mudas em condições de temperaturas altas, pode ser parcialmente explicada pelo fato de o sistema fitocromo ser sensível à temperatura, de modo que, determinado nível de competição de plantas, que pode ser tolerado sob temperaturas moderadas, pode resultar em bulbificação, em condições de temperaturas altas (Currah & Proctor, 1990).

O potencial de produção da cebola é altamente dependente do IAF da cultura, durante o período entre o início da bulbificação e a colheita. A razão é que, cultivares de ciclo precoce interceptam menor quantidade de radiação incidente que cultivares tardias, pois estas têm mais tempo para desenvolver maior IAF, antes de iniciar o processo de translocação de assimilados para o bulbo (Brewster, 1982). Logo, para se obter bulbos de padrão comercial, as plantas de cebola devem desenvolver suficiente área foliar antes de desencadear o crescimento dos bulbos, com a consequente paralisação do crescimento foliar.

Em condições de mesma área foliar e fotoperíodos indutivos, as plantas mais velhas bulbificam mais rapidamente que as jovens. Além disso, a sensibilidade à bulbificação é maior e a bulbificação é mais rápida em plantas mais velhas, principalmente em fotoperíodos mais curtos, pois a lâmina foliar é o receptor do sinal para a bulbificação (Brewster, 1997).

Tei et al. (1996) analisaram o crescimento, a interceptação e a absorção de luz, pela cultura de cebola na densidade de 47 plantas  $m^{-2}$ , e concluíram que: a) a taxa de crescimento relativo da cebola é baixa, na fase inicial de crescimento, decorrente da baixa capacidade de interceptação de luz, por unidade de área foliar, e da baixa eficiência de uso da radiação, pelo dossel da cultura; b) na fase final de crescimento, a cebola exibe alta eficiência no uso da radiação, devido à distribuição mais uniforme da radiação dentro do dossel, à paralisação do crescimento foliar com o início da bulbificação e à baixa taxa de respiração do bulbo; c) a interceptação de radiação, fotossinteticamente ativa (RFA), não ultrapassa 80% enquanto a absorção da RFA, pelas folhas, não ultrapassa 75%. Estes valores, apesar de baixos, comparativamente a outras espécies de plantas, estão bem acima do máximo de 65% de interceptação da RFA observada por Brewster (1982), em cebola.

A eficiência média de conversão da energia solar interceptada e transformada em biomassa pela cebola, na fase de bulbificação, é em torno de  $1,6 \text{ g MJ}^{-1}$  (Brewster et al., 1986). A taxa de conversão da matéria seca da planta em produto colhido é alta, com índice de colheita de 70 a 80%, compensando a baixa interceptação de luz (Brewster et al., 1986; Brewster, 1997).

## 2.4 Fotoperíodo

A bulbificação em cebola é promovida por dias longos. Entretanto, o efeito do fotoperíodo, na cebola, não é do mesmo tipo que ocorre na floração da maioria das espécies fotoperiódicas, em que muitas apresentam uma fase juvenil, na qual não há resposta à indução do fotoperíodo e, uma fase indutiva, quando apenas algumas horas de exposição ao fotoperíodo exigido pela espécie são suficientes para induzir a floração, de forma irreversível. Na bulbificação de cebola, não há nenhuma evidência quanto à existência de fase juvenil, pois mesmo as plântulas podem ser induzidas à bulbificar sob estímulo de dias longos. Além disso, é necessário que as folhas sejam expostas a fotoperíodos indutivos para iniciar a fase de bulbificação e que sejam mantidas nessa condição, continuamente, até a senescência de todas as folhas verdes, para completa formação do bulbo (Brewster, 1997).

A transferência de plantas de cebola de fotoperíodos indutivos para não-indutivos pode paralisar o processo de bulbificação, sendo que o número de dias, de fotoperíodo curto, necessários para reverter o processo de bulbificação aumenta à medida que a bulbificação avança (Brewster, 1997). Esta situação, em cebola, é análoga ao processo de florescimento em algumas espécies de plantas superiores, que pode ser revertido por fotoperíodos não-indutivos (Summerfield et al., 1991).

Em função do número de horas de luz diário exigido para que as plantas formem bulbos comercializáveis, as cultivares de cebola são tradicionalmente classificadas em quatro grupos, isto é, de dias curtos (DC), de dias intermediários (DI), de dias longos (DL) e de dias muito longos (DML) (Bosch Serra & Currah, 2002). As DC bulbificam com pelo menos 12 horas diárias de luz, as DI exigem dias com 13 ou mais horas de luz, as DL exigem mais de 14 horas diárias de luz e, as DML, exigem duração diária superior a 15 horas. No Brasil, em função dos fotoperíodos que ocorrem ao longo do ano, as cultivares possíveis de serem plantadas, em condições normais de temperatura, são as dos tipos DC e DI. Cultivares adaptadas a latitudes menores requerem fotoperíodos mais curtos para induzir a bulbificação, comparativamente àquelas adaptadas a latitudes maiores. Logo, cultivares adaptadas às latitudes maiores, de modo geral, não bulbificam, satisfatoriamente, em latitudes menores.

Satisfeitas as exigências mínimas em fotoperíodo, a taxa de crescimento do bulbo aumenta e a maturação é acelerada quando o comprimento do dia também aumenta. Contudo, bulbos são menores quando as cebolas crescem sob fotoperíodos substancialmente mais longos que o mínimo requerido para a bulbificação.

Embora a temperatura seja o principal fator meteorológico associado ao florescimento da cebola, fotoperíodos longos reduzem o período de vernalização necessário para que as plantas de cebola floresçam (Brewster, 1983).

## 2.5 Vento

O vento afeta o crescimento das plantas de cebola em três aspectos principais: na transpiração, na absorção de  $\text{CO}_2$  e no efeito mecânico sobre as folhas. A transpiração das plantas aumenta com a velocidade do vento até certo limite, além do qual não se verificam variações. O efeito do vento sobre a transpiração varia conforme a temperatura e a umidade relativa do ar.

A turbulência causada pelo vento favorece o aumento na absorção de  $\text{CO}_2$ , e, por conseguinte, aumenta a fotossíntese das plantas. No caso da cultura da cebola, devido ao porte pequeno e à arquitetura de planta, o suprimento de  $\text{CO}_2$  não é limitado por vento de baixa velocidade.

Mesmo sendo as plantas de cebola tolerantes a ventos moderados, ventos de alta velocidade são prejudiciais ao crescimento e à produção, devido ao efeito mecânico negativo, que pode causar a quebra das folhas, reduzindo a translocação de fotoassimilados e nutrientes, proporcionando, ainda, a abertura de portas para doenças fúngicas e bacterianas.



Portanto, considerando-se a transpiração, a absorção de CO<sub>2</sub> e o efeito mecânico causado pelos ventos, o movimento moderado do ar é o que melhor convém ao bom crescimento de plantas de cebola.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Chuva intensa e granizo

Para que a emergência da cebola ocorra de forma adequada, as sementes devem ser depositadas em solos bem preparados e a profundidade máxima de 1,5 cm, mantendo-se o solo úmido até a emergência das plântulas. A formação de crosta, na superfície do solo, ocasionada por chuvas de média a alta intensidade, reduz drasticamente a emergência de plântulas e, conseqüentemente, a população de plantas.

Em cebola, o granizo geralmente não causa destruição das folhas como em outras culturas. A disposição ereta e a forma subulada do limbo foliar da cebola, normalmente, não predispõem a cultura a danos severos pela ocorrência de granizo. Mas, dependendo do tamanho e formato das pedras de gelo, da duração e intensidade da chuva e da velocidade de queda, os danos poderão ser expressivos. Danos maiores podem ocorrer na fase inicial de crescimento das plantas, quando as folhas estão ainda tenras. Contudo, danos no início do ciclo da cultura permitem a recuperação da planta pela emissão de novas folhas. À medida que as plantas crescem, as folhas tornam-se mais espessas, mais cerosas e mais resistentes.

Chuvas de granizo podem causar dois tipos de danos principais à cultura de cebola: acamamento e ferimentos nas folhas. O acamamento geralmente está associado à ocorrência de granizo, juntamente com ventos fortes, seguidos de chuvas intensas. Caso ocorram no final do ciclo da cultura, as folhas irão acamar, mas, possivelmente, não trarão prejuízos à produção. Os bulbos, que constituem a parte comercializável, dificilmente sofrerão danos mecânicos por estarem completamente ou parcialmente abaixo do nível do solo.

Caso ocorra acamamento durante a fase de crescimento de planta ou de bulbo, as perdas poderão ser significativas, pois haverá comprometimento no crescimento de bulbo. Ferimentos nas folhas, causados pelo impacto das pedras de gelo, além de reduzirem a área foliar, tornam-se porta de entrada de microrganismos, especialmente bactérias, e de *Alternaria porri*, fungo causador da doença denominada mancha-púrpura.

#### 3.2 Seca e veranico

O sistema radicular superficial da cebola torna a planta menos acessível às reservas de água do solo, de modo que a sensibilidade da cultura, a veranicos e, ou, chuvas mal distribuídas, é grande. As taxas fotossintética, de respiração e de crescimento são reduzidas, mesmo sob condições de estresses hídricos leves, o que torna a cebola mais sensível ao estresse hídrico que inúmeras outras culturas (Voss et al., 1999).

A cebola possui pequena capacidade de reduzir seu potencial de água na folha pela regulação osmótica, para compensar a baixa disponibilidade de água causada por déficit hídrico e, ou, salinidade no solo. Logo, o estado de água na planta é um importante fator que pode potencialmente limitar o crescimento da cebola. Em culturas destinadas à produção de sementes, o estresse hídrico pode ocasionar dificuldades de florescimento e desenvolvimento de pólen, reduzindo o peso, a produção e o vigor das sementes (Voss et al., 1999).

A planta de cebola é sensível à salinidade do solo. Seu potencial de produção pode ser reduzido, drasticamente, em condições de alta salinidade, particularmente quando acompanhado por alta evapotranspiração e limitada disponibilidade hídrica. A sensibilidade à salinidade é maior nas fases de germinação e emergência, diminuindo à medida que as plantas crescem (Wannamaker & Pike, 1987; Voss et al., 1999).

Apesar de exigente em água, observações de plantas, crescendo em condições áridas, mostram que elas podem sobreviver por longos períodos de estresse hídrico, paralisando seu crescimento e recuperando-se, posteriormente, quando a água se torna disponível (Levy et al., 1981). No entanto, bulbos comercializáveis de cebola são constituídos em grande parte por água e, por conseguinte, a maximização da taxa de crescimento e a obtenção de boas produtividades, com qualidade, dependem, necessariamente, de bom suprimento de água para as plantas.

### 3.3 Vento intenso (ventania e vendavais)

Não foram encontrados estudos sistematizados abordando a avaliação de efeitos adversos de vento intenso, na cultura da cebola, existindo apenas informações baseadas em experiência de campo.

Técnicos e agricultores, de Municípios litorâneos do Rio Grande do Sul, região tradicional na cebolicultura, fustigada por ventos intensos e constantes, relatam o plantio de cercas vivas em torno das lavouras de cebola como quebra-ventos, com o objetivo de reduzir danos mecânicos às folhas.

Sob condições extremas de vento, temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar, o crescimento da cebola pode ser inibido, mesmo quando as raízes estão adequadamente supridas com água (Millar et al., 1971). Neste caso, o vento seco e quente aumenta bruscamente a demanda evaporativa da atmosfera e, o sistema radicular, mesmo dispondo de água no solo, não é capaz de suprir tal demanda, devido às limitações de condutividade hidráulica no solo ou na planta, causando uma brusca redução na transpiração das plantas.

No final do ciclo da cultura, fase em que as plantas estão mais sujeitas ao tombamento, a ocorrência de ventos fortes pode acelerar o acamamento. Mas, como nesta fase os bulbos já estão praticamente formados, os danos à produção são geralmente desprezíveis.

### 3.4 Geadas

Sendo originária de regiões de clima temperado e frio, a cebola apresenta tolerância moderada à geada, mas não tolera frio muito intenso ou muito prolongado. Em casos extremos, ocorre queima de folhas, iniciando nas pontas e progredindo para a base. As plantas mantêm o crescimento normal quando uma geada moderada é seguida de elevação da temperatura do ar.

A tolerância a geadas pode ser percebida quando se considera que o Estado de Santa Catarina é o maior produtor nacional e, que, os Estados do Rio Grande do Sul e do Paraná são também importantes produtores, inclusive com migração da cultura, nos últimos anos, para as regiões de planalto, onde ocorrem geadas mais fortes e frequentes.

### 3.5 Chuva excessiva ou excesso hídrico prolongado

Chuvas intensas e prolongadas ou irrigações excessivas, em qualquer fase do ciclo da cebola, prejudicam o crescimento e a produção de bulbos. Em solos com problemas de drenagem, o excesso de água acumulado pode prejudicar a aeração e a respiração das raízes que, nestas condições, podem morrer.

Segundo Marouelli & Silva (1991), o crescimento e a produtividade de bulbos são drasticamente comprometidos quando o solo permanece saturado por mais de 12 horas. Chuvas ou irrigação em excesso, antes do início da bulbificação, aumentam o diâmetro do pseudocaule, favorecendo a entrada de água e dificultando o tombamento das plantas. Já o excesso de água no solo, durante a fase final de crescimento de bulbos, retarda a maturação, causando a ruptura das películas externas de proteção dos bulbos, que continuam a crescer. Para que as películas de proteção se formem e se mantenham intactas, as irrigações devem ser paralisadas duas a três semanas antes da colheita.

Períodos prolongados de chuvas, durante as últimas etapas da maturação, quando o pseudocaule torna-se flácido e as folhas estão começando a murchar, favorecem o apodrecimento dos bulbos, ainda no campo. Para boa qualidade dos bulbos, é necessário tempo seco durante a colheita e a cura da cebola, no campo. Bulbos colhidos em tempo úmido e, ou, solos com excesso de água, apresentam elevadas taxas de apodrecimento, logo após a colheita, sem completar a cura, impossibilitando a comercialização.

Umidade relativa elevada, quando associada a irrigações e adubações excessivas, favorece a incidência de doenças foliares.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Poucos são os trabalhos de pesquisa que abordam fatores meteorológicos e seus efeitos na cultura de cebola, praticamente inexistindo em países tropicais e subtropicais.

No Brasil, pesquisas com a cultura da cebola têm se restringido aos aspectos agrônômicos, como fertilização, sistemas de produção, manejo de doenças e pragas, desempenho de cultivares, métodos de armazenamento e qualidade pós-colheita. Poucas pesquisas têm abordado os aspectos fisiológicos de cebolas tropicais de dias curtos. Assim, as informações aqui apresentadas, embora baseadas em estudos realizados, principalmente, em países de clima temperado e envolvendo cultivares de cebolas de dias longos, podem ser, potencialmente, úteis como referências para a produção de cebola nos trópicos e subtropicais.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328 p. (Irrigation and drainage papers, 56).

BOSCH SERRA, A. D.; DOMINGO OLIVÉ, F. Ecophysiological aspects of nitrogen management in drip-irrigated onion (*Allium cepa* L.). **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 506, p. 135-140, 1999.

BOSCH SERRA, A. D.; CURRAH, L. Agronomy of onions. In: RABINOWITCH, H. D.; CURRAH, L. (Ed.). **Allium crop science: recent advances**. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 187-232.

BREWSTER, J. L. Effects of photoperiod, nitrogen nutrition and temperature on inflorescence initiation and development in onion (*Allium cepa* L.). **Annals of Botany**, London, v. 51, p. 429-440, 1983.

BREWSTER, J. L. Growth, dry matter partition and radiation interception in an overwintered bulb onion (*Allium cepa* L.) crop. **Annals of Botany**, London, v. 49, p. 609-617, 1982.

BREWSTER, J. L. **Onions and other vegetable alliums**. Wallingford: CAB International, 1997. 236 p.

BREWSTER, J. L.; MONDAL; F. M.; MORRIS, G. E. L. Bulb development in onion (*Allium cepa* L.). IV. Influence on yield of radiation interception, its efficiency of conversion, the duration of growth and dry-matter partitioning. **Annals of Botany**, London, v. 58, p. 221-233, 1986.

CANDEIA, J. A.; COSTA, N. D. A cebolicultura nordestina ea necessidade de pesquisa no contexto atual. In: PEREIRA, W.; VIEIRA, J. V.; MENDONÇA, J. L. de (Org.). **Relatório do Workshop sobre cebolicultura no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000. p. 15-17. (Embrapa Hortaliças. Documentos, 25).

COSTA, C. P. Germoplasma de cebola brasileiro e seu uso no melhoramento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CEBOLA, 9., 1997, Pelotas. **Resumos... Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1997, p. 2.**

CURRAH, L.; PROCTOR, F. J. **Onions in tropical regions**. Chatham: Natural Resources Institute, 1990. 232 p. (Bulletin 35.)

DAYMOND, A. J. et al. The growth, development and yield of onions (*Allium cepa* L.) in response to temperature and CO<sub>2</sub>. **Annals of Botany**, London, v. 78, p. 423-430, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage, 33).

FINCH-SAVAGE, W. E. Effects of soil moisture and temperature on seedling emergence from natural and pre-germinated onion seed. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 107, p. 249-256, 1986.

FRANÇA, J. G. E.; CANDEIA, J. A. Development of short-day yellow onion for tropical environments of the Brazilian northeast. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 433, p. 285-287, 1997.

FRITSCH, R. M.; FRIESEN, N. Evolution, domestication, and taxonomy. In: RABINOWITCH, H. D.; CURRAH, L. (Ed.). **Allium crop science: recent advances**. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 5-30.

GOLDMAN, I. L.; HAVEY, M. J.; SCHROECK, G. History of public onion breeding programs and pedigree of public onion germplasm releases in the United States. **Plant Breeding Reviews**, Westport, v. 20, p. 67-103, 2000.

GREENWOOD, D. J. Root development of vegetable crops. **Plant and Soil**, The Hague, v. 68, p. 75-96, 1982.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção: cebola: produção e área colhida, Brasil e unidades da Federação**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 out. 2008.

INTERNATIONAL UNION FOR THE PROTECTION OF NEW VARIETIES OF PLANTS (UPOV). **Guidelines for conduct of test for distinctness, uniformity and stability of Allium cepa and Allium Ascalonicum**. Genebra: UPOV, 1999. 40 p.

LANCASTER, J. E. et al. Bulbing in onions: photoperiod and temperature requirements and prediction of bulb size and maturity. **Annals of Botany**, London, v. 78, p. 423-430, 1996.

LEVY, D. et al. Growing onion seeds in an arid region: drought tolerance and the effect of bulb weight, spacing and fertilization. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 14, p. 1-7, 1981.

MARQUELLI, W. A.; ABDALLA, R. P.; MADEIRA, N. R. Irrigação de cebola em sistema de plantio direto. **Revista de Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 17, n. 105, p. 7-9, 2008.

MARQUELLI, W. A.; COSTA, E. L.; SILVA, H. R. **Irrigação da cultura de cebola**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 17 p. (Embrapa Hortaliças. Circular técnica, 37).

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação subsuperficial: uma opção para hortaliças em solos de várzea. **Hortinforme**, Brasília, DF, n. 5, p. 4-5, 1991.

McCOLLUM, G. D. Chromosome behavior and sterility of hybrids between the common onion, *Allium cepa*, and the related wild *A. oschaninii*. **Euphytica**, Wageningen, v. 3, p. 699-709, 1974.

MELO, P. C. T.; RIBEIRO, A.; CHURATA-MASCA, M. G. C. Sistemas de produção, cultivares de cebola e o seu desenvolvimento para as condições brasileiras. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA CEBOLA, 3., 1988, Piedade. **Anais... Jaboticabal: FUNEP, 1988, p. 27-61.**

MILLAR, A. A.; GARDNER, W. R.; GOLTZ, S. M. Internal water status and water transport in seed onion plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 779-784, 1971.

MONDAL, M. F. A. et al. Bulb development in onion (*Allium cepa* L.) II. The influence of red:far-red spectral ratio and of photon flux density. **Annals of Botany**, London, n. 58, p. 197-206, 1986.

PELTER, G. Q. et al. Effects of water stress at specific growth stages on onion bulb yield and quality. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, p. 107-115, 2004.

RABINOWITCH, H. D.; KAMENETSKY, R. Shallot (*Allium cepa*, *Aggregatum* group). In: RABINOWITCH, H. D.; CURRAH, L. (Ed.). **Allium crop science: recent advances**. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 409-430.

RANDLE, W. M.; LANCASTER, J. E. Sulphur compounds in alliums in relation to flavour quality. In: RABINOWITCH, H. D.; CURRAH, L. (Ed.). **Allium crop science: recent advances**. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 329-356.

SANDERS, D. C. **Vegetable crop irrigation**. Raleigh: North Carolina Cooperative Extension Service, 1997. 6 p. (Horticulture information leaflet, 33-E).

SANTOS, I. A. *Alternativas de manejo da irrigação suplementar na cultura da cebola (Allium cepa L.)*. 1997. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SHOCK, C. C. et al. Vegetable irrigation. In: LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007. p. 535-606.

SOARES, J. M.; POSSIDIO, E. L. **Comparação de métodos de irrigação em cultivares de cebola no Vale do submédio São Francisco**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1995. 23 p. (Embrapa-CPATSA. Circular técnica, 51).

SUMMERFIELD, R. J. et al. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple models for fluctuating field environments. **Experimental Agriculture**, London, v. 27, p. 11-31, 1991.

TEI, F.; AIKMAN, D. P.; SCAIFE, A. **Growth of lettuce, onion and red beet. 2. Growth modelling**. **Annals of Botany**, London, v. 78, p. 645-652, 1996.

VIDIGAL, S. M.; PEREIRA, P. R. G.; PACHECO, D. D. Nutrição mineral e adubação da cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 36-50, 2002.

VOSS, R. E. et al. **Onion seed production in California**. Davis: University of Davis, 1999. p. 1-10. (Publication, 8008). Disponível em: < <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8008.pdf>>. Acesso em: 3 abr. 2008.

WANNAMAKER, M. J.; PIKE, L. M. Onions responses to various salinity levels. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 112, p. 49-52, 1987.

WURR, D. C. E. et al. Climate changes: a response surface study of the effects of the CO<sub>2</sub> and temperature on the growth of beetroot, carrots and onions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 131, p. 125-133, 1998.



# CEVADA

*Foto: David Thomson*





## 1. INTRODUÇÃO

A cevada cultivada é uma planta da tribo *Triticeae*, pertencente à família das gramíneas e ao gênero *Hordeum*, composto por 32 espécies (Bothmer et al., 1991).

O gênero *Hordeum* caracteriza-se por possuir três espiguetas uniflorais, providas de ráquila, unida ao grão. A espiguetas central é sempre fértil, enquanto as laterais são, usualmente, estéreis. Cada espiguetas possui estruturas de proteção, denominadas de pálea e lema, sendo que esta última pode apresentar arista ou ser mútica. *Hordeum vulgare* é a única espécie cultivada, apresentando três subespécies, isto é, *Hordeum vulgare* ssp. *vulgare* (cevadas hexásticas – 6 fileiras), *Hordeum vulgare* ssp. *distichum* (cevadas dísticas – 2 fileiras) e *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum* (cevadas de ráquis frágil, em geral, silvestres).

### Introdução, expansão e importância atual

A cevada é o quarto cereal de maior importância no mundo, situando-se após o milho, o trigo e o arroz. Sua produção está concentrada principalmente nas regiões temperadas da Europa, Ásia e América do Norte, sendo também cultivada em ambientes subtropicais, como o sul do Brasil, a Argentina, o Uruguai e a Austrália.

Em 1584, Frei Cardim relatou o primeiro cultivo de cevada em território brasileiro, no atual Estado de São Paulo. Depois destes primeiros cultivos na América, cada novo grupo de imigrantes europeus, principalmente, alemães e italianos, trouxe suas próprias sementes de cevada, ocorrendo, naturalmente, a ampliação da variabilidade genética do cereal, seja por cruzamentos naturais, mutações ou seleção natural.

Desde a domesticação, a cevada vem sendo alterada geneticamente, visando à adaptação a diferentes condições ambientais, sistemas de produção e usos do grão. A variabilidade genética (natural e induzida), acumulada ao longo da história, tem permitido o melhoramento e o avanço necessário à manutenção da cultura na posição que ocupa, no cenário mundial de produção de alimentos.

A cevada tem múltiplos usos. No mundo, mais de 90% da produção são destinados à alimentação animal e, somente 5%, são empregados na produção de malte, matéria-prima para a fabricação de cerveja; outros 5% são usados como semente. No Brasil, a situação é distinta. Toda a cevada produzida é destinada às indústrias malteiras, exceto quando a qualidade do produto não atende às especificações exigidas para o fim cervejeiro, conforme portaria 691, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de 1996 (Brasil, 1996).

O mesmo malte utilizado na produção da cerveja, quando torrado, pode também ser destinado à produção de sucedâneos de café (imitando o sabor), sendo aceito, especialmente, por não possuir cafeína.

A maior área cultivada com cevada no mundo, até o momento, ocorreu na década de 1970. Desde então, a área deste cereal vem se reduzindo, estabilizando-se em torno dos 50 milhões de hectares, na década de 2000. Existem dois fatores básicos que justificam este comportamento. O primeiro diz respeito ao surgimento de híbridos de milho cada vez mais produtivos, ocupando o espaço do mercado da cevada forrageira para alimentação animal. O segundo está relacionado à comercialização restrita, quando o fim considerado é o cervejeiro (Langridge & Barr, 2003). Por outro lado, o rendimento mundial médio, de grãos, tem crescido sensivelmente ao longo do tempo, consequência dos esforços das empresas de pesquisa, públicas e privadas, em diferentes países (Figura 1).

1- Eng. Agrônomo, Msc., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. C.P. 451, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS. E-mail: caierao@cnpt.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: cunha@cnpt.embrapa.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: pires@cnpt.embrapa.br



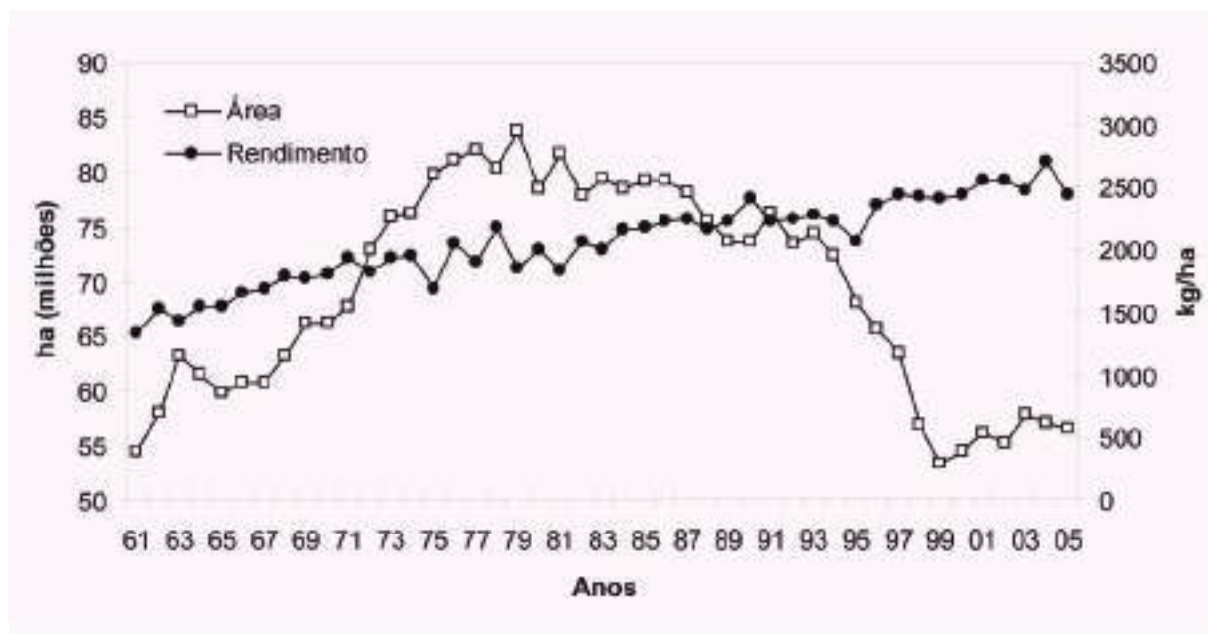


Figura 1. Evolução da área cultivada e do rendimento de grãos de cevada no mundo, de 1961 a 2005. FAO, 2005.

Na América do Sul, a área cultivada já chegou a 1,3 milhões de ha, no início da década de 1960 (século 20). Em seguida, caiu sistematicamente até meados da década de 1980, quando teve início um crescimento gradual, atingindo valores próximos aos 900 mil ha, em 2005. A Argentina é a maior produtora sulamericana de cevada, detendo os melhores rendimentos. Chile, Uruguai e Brasil completam o grupo de representatividade no continente. Os rendimentos médios sulamericanos são similares aos mundiais, ao longo do tempo.

Em relação ao Brasil, por consequência das condições climáticas instáveis nas regiões de cultivo (geadas tardias e precipitação pluvial elevada, no período de colheita), tanto a área quanto o rendimento de grãos de cevada oscilam com mais intensidade, de ano para ano (Figura 2). Tal instabilidade é ainda agravada pela ausência de uma política de comercialização estável, ao longo dos anos, já que, por vezes, é definida em função do custo de produção, outras vezes, vinculada ao dólar e, ainda, em algumas situações, baseada no preço de outros cereais, como o trigo. Além disso, é uma cultura essencialmente dependente do fomento das indústrias de malteação.

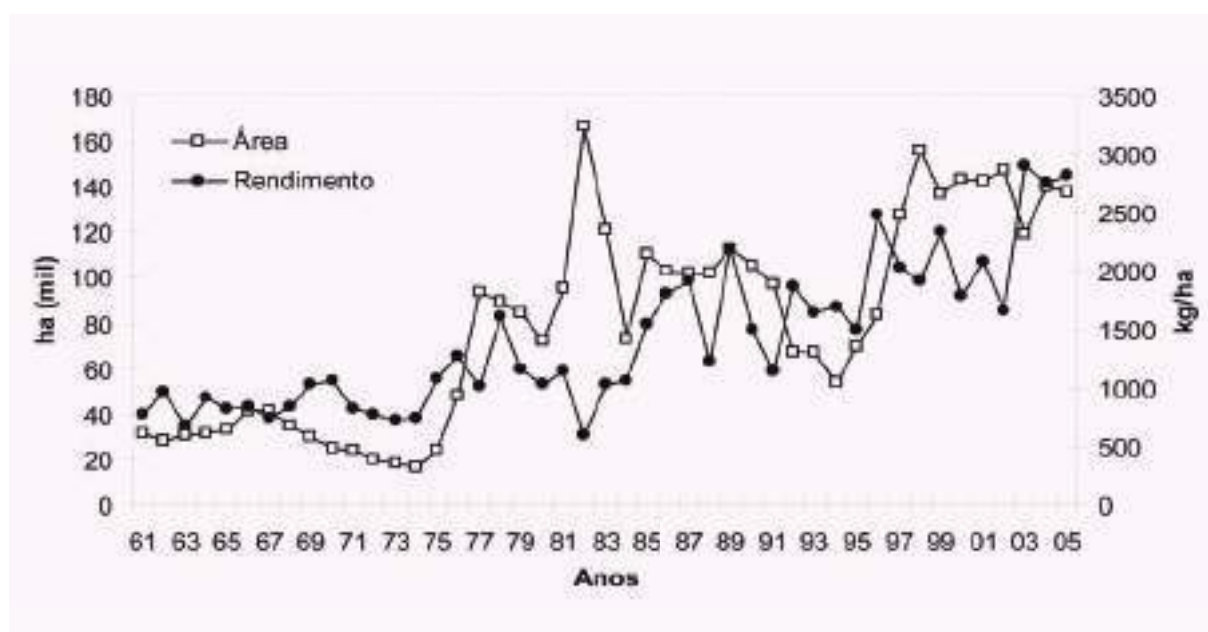


Figura 2. Evolução da área cultivada e do rendimento de grãos de cevada no Brasil, de 1961 a 2005. FAO, 2005.

A cevada produzida no Brasil, tendo como referência a safra de 2005, é suficiente para abastecer somente 2/3 da demanda das maltarias instaladas no país. A quantidade restante é importada, principalmente, da Argentina e de países europeus.

## 1.1 Fenologia

A fenologia estuda as alterações na morfologia das plantas durante o desenvolvimento, que pode ser dividido em crescimento, clímax e senescência (Floss, 2004). A fase de crescimento ocorre quando a taxa fotossintética é maior que a taxa respiratória, ocorrendo, portanto, assimilação de fotossintatos, determinando o aumento de peso seco da planta. Na fase de clímax ou ponto de compensação, há um equilíbrio na planta, ou seja, a taxa de fotossíntese é igual à taxa de respiração mais fotorrespiração. Na senescência, a taxa de fotossíntese é menor que a taxa de respiração mais fotorrespiração e, portanto, a assimilação é negativa.

A cevada é um cereal de clima temperado, que é também cultivado em regiões de clima subtropical, como o sul do Brasil. Seu melhor desenvolvimento está diretamente ligado aos ambientes de elevada luminosidade diária e temperaturas amenas. Várias escalas têm sido propostas, ao longo dos anos, para descrever o desenvolvimento fenológico dos cereais. As escalas de Haum (1973) e de Zadoks (1974), por exemplo, são baseadas no desenvolvimento fenotípico; as escalas de Banerjee e Wienhues (1965), por outro lado, fazem referência ao desenvolvimento do meristema apical. Entretanto, a escala fenológica de Feeks & Large (Large, 1954), desenvolvida em 1940 e adaptada em 1954, é a mais utilizada para a cevada, sendo dividida em 5 fases principais: afilhamento, alongamento, espigamento, florescimento e maturação (Tabela 1 e Figura 3).

**Tabela 1. Escala fenológica de desenvolvimento de cereais, proposta por Large (1954).**

Estádio	Descrição
<b>Afilhamento – aproximadamente 60 dias</b>	
1	Emergência do coleóptilo e das primeiras folhas
2	Início do afilhamento
3	Afilhos formados
4	Bainhas foliares alongam-se
5	Bainhas foliares eretas
<b>Elongação do colmo – aproximadamente 20 dias</b>	
6	Primeiro nó do colmo visível
7	Segundo nó do colmo visível
8	Última folha é visível
9	Lígula da última folha é visível
10	Emborrachamento
<b>Espigamento – aproximadamente 10 dias</b>	
10.1	Primeiras espigas recém-visíveis

Estádio	Descrição
10.2	¼ do processo de espigamento
10.3	½ do processo de espigamento completo
10.4	¾ do processo de espigamento completo
10.5	Todas as espigas fora das bainhas
<b>Florescimento – aproximadamente 10 dias</b>	
10.5.1	Início do florescimento
10.5.2	Florescimento completo na ponta da espiga
10.5.3	Florescimento completo na base da espiga
10.5.4	Florescimento terminado e início da formação do grão
<b>Maturação – aproximadamente 40 dias</b>	
11.1	Grão em estado leitoso
11.2	Grão em estado de massa mole
11.3	Grão em estado de massa dura
11.4	Grão maduro, Palha morta

Atualmente, as cultivares de cevada não são agrupadas por grupos de maturação, já que não existe uma variação significativa no ciclo dos materiais disponíveis (140 – 148 dias).

O processo de germinação é uma sequência complexa de reações bioquímicas e de crescimento celular, pelas quais, substâncias de reserva, armazenadas nos tecidos, são desdobradas, transportadas e resintetizadas no eixo embrionário, via reações químicas, dando início à emissão do coleóptilo e das raízes primárias da planta (Bewley & Black, 1994).

A etapa do afilhamento tem importância fundamental na determinação do potencial produtivo da cultura e na compensação de uma eventual baixa população inicial de plantas (García del Moral & Garcia del Moral, 1995), pois neste momento já são definidos alguns dos componentes do rendimento, como o número de espigas (número de filhos) e o número de grãos por espiga (diferenciação floral).

A fase de alongação tem início quando o primeiro nó é emitido, a partir do qual os entrenós iniciam sua expansão. A partir desta etapa, aplicações de fertilizantes nitrogenados não terão qualquer efeito sobre o número de espigas por área, ou mesmo, o número de grãos por espiga, já que foram determinados no afilhamento. A importância da disponibilidade de nitrogênio, na alongação, diz respeito à manutenção da viabilidade dos filhos e, portanto, espigas férteis para o enchimento de grãos. Por esta razão, estresses ambientais severos, no período de afilhamento, podem comprometer o potencial da lavoura, como por exemplo, baixa precipitação pluvial e golpes de calor (Molina-Cano, 1989).

O espigamento da cevada pode ser definido como o momento em que as aristas, de cada espiga, surgem da bainha da folha bandeira. Simultaneamente ao processo de espigamento, ocorre a floração. Nesta etapa, a planta está altamente sensível aos estresses ambientais, principalmente a falta ou o excesso de água e golpes de calor ou frio (geadas, particularmente). Em condições de estresse, as flores abortam, interferindo diretamente no número de espiguetas por espiga e, portanto, no potencial produtivo final. A cevada é predominantemente autógama, porém, um percentual máximo de 2% de polinização cruzada pode ocorrer, conforme condições ambientais.

O processo de formação do grão tem relação direta com o peso do grão e, também, com a determinação da qualidade industrial da lavoura. A temperatura média diária e a umidade relativa do ar podem ser consideradas as variáveis ambientais de maior efeito sobre o rendimento de grãos.

A última etapa do desenvolvimento do grão de cevada é o processo de maturação, caracterizado pela perda de água e aumento do nível de ácido abscísico no endosperma, que eleva a permeabilidade do pericarpo, provocando a desidratação do grão (Garcia del Moral & Ramos, 1989). A cevada caracteriza-se por ser mais sensível ao calor, em relação à aveia e ao trigo, podendo ocorrer maturação forçada com temperaturas acima de 35°C (Árias, 1995).

Na maturação de colheita (abaixo de 18% de umidade do grão), a ocorrência da precipitação pluvial elevada pode prejudicar a qualidade do grão, via germinação na espiga, como, também, o favorecimento da ocorrência de fungos.

Em média, o ciclo total das cultivares de cevada, disponíveis para cultivo no sul do Brasil, tem variado de 125 a 135 dias, com 80 a 90 dias para atingir o espigamento.

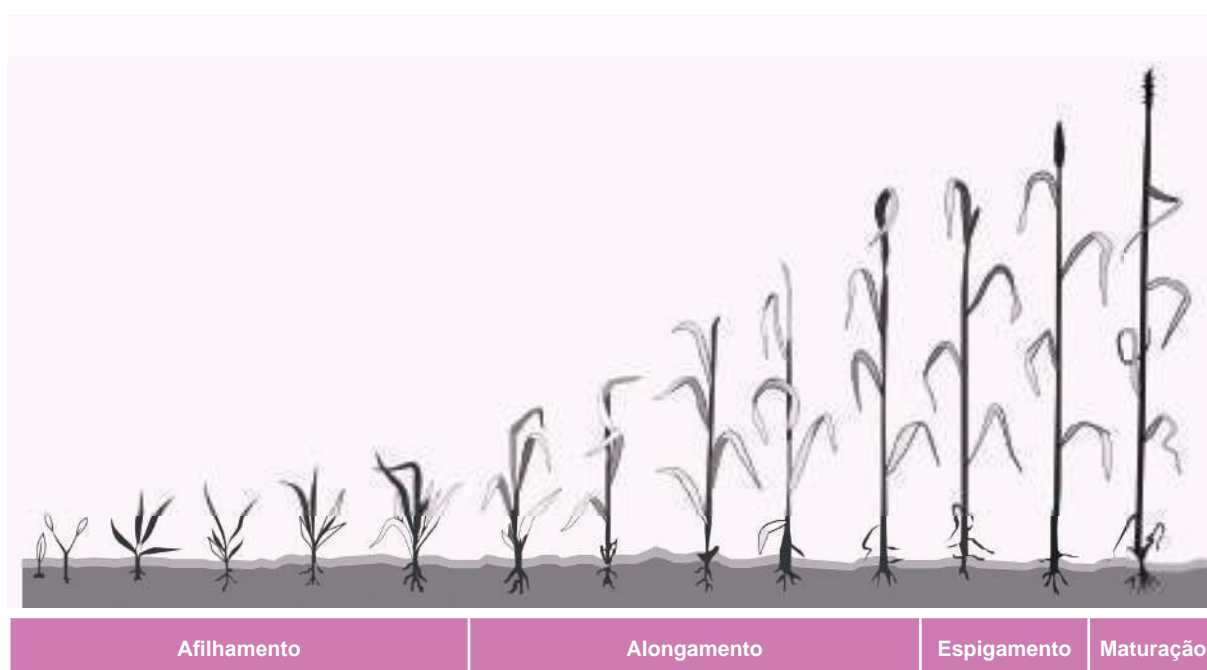


Figura 3. Escala de desenvolvimento de cereais. Feeks (1940), modificada por Large (1954).

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

O fenótipo das plantas (o que é visível) nada mais é que a interação da genética com o ambiente. Para o pleno desenvolvimento das plantas, muitas variáveis do ambiente atuam, durante todas as fases fenológicas, interferindo, positiva ou negativamente, conforme a magnitude e o momento do ciclo de desenvolvimento. Dentre as principais, pode-se listar a disponibilidade hídrica, a temperatura, o fotoperíodo, a radiação solar e os eventos adversos, como ventania, precipitação de granizo e geada.

### 2.1 Disponibilidade hídrica

As plantas são constituídas, na sua maior parte, por água, elemento indispensável, como solvente e meio para reações bioquímicas, no transporte de fotoassimilados no floema e solutos inorgânicos no xilema, na manutenção da turgescência de células, como matéria-prima da fotossíntese e de outras reações bioquímicas, no resfriamento da superfície da planta, entre outras funções (Floss, 2004). Sua falta, portanto, é o principal fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

De maneira geral, a cevada pode tolerar estresses hídricos moderados (Poehlman, 1985). A

quantidade de água necessária, para a produção de uma unidade de peso de grãos de cevada, é menor que para outros cereais (Nuttonson, 1957; Shantz & Premeisel apud Good & Bell, 1980), tornando a planta mais eficiente ao seu uso (Tabela 2). Conforme Árias (1995), a cevada necessita de 425 litros de água para produzir um quilograma de matéria seca, menos, portanto, que o trigo (500 litros) e a aveia (570 litros).

Estresses hídricos moderados exercem pouco efeito sobre o crescimento vegetativo da cevada, mas afetam a formação dos primórdios florais. Estresses severos ou mais prolongados podem promover a paralisação da diferenciação floral, impedindo a formação de colmos férteis (Del Moral & Ramos, 1989).

Em trabalho realizado por Oviedo et al. (2001), avaliando o efeito do estresse hídrico sobre o uso da radiação e produtividade de cereais, constatou-se que a falta de água reduziu o uso da radiação solar para a produção de grãos, em função do estágio de desenvolvimento da planta. No perfilhamento, por exemplo, a falta de água reduziu em 15,7% o uso da radiação enquanto que, no emborrachamento, a redução foi de 39,4%.

A água é absorvida, de forma ativa ou passiva, pelas raízes, a partir da solução do solo, e transportada passivamente para a parte aérea, por meio do fluxo de massa no xilema. O sistema radicular da cevada é predominantemente axial. As raízes produzidas, com o processo de germinação, são classificadas em primárias, podendo variar de 5 a 10, conforme a cultivar, tendo a função de fixar-se ao solo e extrair água e nutrientes, durante as primeiras semanas de desenvolvimento. As raízes adventícias desenvolvem-se posteriormente, com emissão a partir do colmo principal e dos afilhos, e fornecerão água e nutrientes durante o restante do ciclo da cultura. O desenvolvimento radicular da cevada é influenciado diretamente pelas condições do solo e de ambiente (Reid, 1985). Weaver (1926) observou que, no estágio de 2 folhas visíveis, as raízes primárias atingiam profundidade máxima de 25 cm. Com 6 folhas visíveis, a profundidade observada do sistema radicular atingiu 60 cm. Sem qualquer impedimento físico e químico, as raízes da cevada podem atingir profundidades superiores a 1,5 m (Briggs, 1978). Limitações físicas, tais como camadas compactadas, oriundas de tráfego de máquinas em condições inadequadas, por período prolongado, aliadas a um manejo sem palha no sistema, podem impedir o crescimento radicular. Não raras vezes, sistemas radiculares limitados a 50-60 cm de profundidade, são encontrados influenciando, diretamente, a capacidade da planta de tolerar estresses hídricos nas fases críticas de desenvolvimento e, mesmo, na viabilidade dos afilhos emitidos pela planta.

**Tabela 2. Eficiência do uso de água em cereais (Shantz e Premeisel apud Good e Bell, 1980).**

Espécie	Moles de água transpirada/moles de CO <sup>2</sup> fixado
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	928
Cevada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	863
Aveia ( <i>Avena sativa</i> L.)	972
Centeio ( <i>Secale cereale</i> L.)	1.057
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.)	1.137

Segundo Bellido (1991), os estádios mais sensíveis da cultura ao estresse hídrico são o emborrachamento e o espigamento, reduzindo o número de grãos por espiga. Falta de água no período de enchimento de grãos limita o rendimento de grãos e a qualidade industrial.

Sob condições de irrigação, a cevada é uma cultura de elevado potencial de rendimento. Entretanto, o manejo da água deve ser cuidadoso, pois o excesso pode causar prejuízos na quantidade e na qualidade, em decorrência do acamamento. Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de cultura (Kc), para cada etapa de desenvolvimento da cevada, em dias após a emergência. Os maiores valores de Kc podem ser observados a partir dos 40 dias de ciclo, quando, por ocasião do perfilhamento pleno, as plantas cobrem o solo com área foliar.

**Tabela 3. Coeficientes de cultura (Kc), para a cevada BRS 180, no Cerrado Brasileiro (Guerra & Silva, 1999)**

Dias após a emergência	Coeficientes de cultura (Kc)
8	0,70
16	0,98
24	1,21
32	1,39
40	1,51
48	1,59
56	1,61
64	1,58
72	1,50
80	1,37
88	1,19
96	0,96
104	0,68

## 2.2 Temperatura

Os principais componentes ambientais que afetam o desenvolvimento da cevada são a temperatura e o fotoperíodo. A temperatura interfere diretamente em todas as etapas de desenvolvimento da cultura, enquanto, a própria temperatura, associada aos requerimentos de vernalização, e o fotoperíodo são importantes somente em algumas etapas (Ellis et al., 1988; Slafer & Rawson, 1994)

Todas as atividades metabólicas e fisiológicas das plantas são reguladas pelo nível de energia calorífica existente no sistema, geralmente medido por meio da temperatura. Sua influência inicia-se no processo de emergência das sementes e estende-se até a maturação do grão. Quanto maior a temperatura, mais acelerado é o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Em determinado fotoperíodo e, sob condições de vernalização atendidas, a soma térmica necessária, para cada subperíodo do ciclo de desenvolvimento da cevada, não varia. Embora este conceito seja universal (não existem cultivares insensíveis à temperatura), podem ser encontradas diferenças entre cultivares, no que diz respeito à intensidade desta sensibilidade (Garcia del Moral et al., 2002).

As metodologias para determinação da soma térmica necessária (total de graus-dia), para o desenvolvimento da cevada, variam. Normalmente, este índice é calculado a partir da média diária das temperaturas do ar, máxima e mínima. Entretanto, como nos estádios iniciais as estruturas permanecem abaixo do solo, seria mais correto utilizar as temperaturas do solo, para fins de soma térmica (Jamieson et al., 1995).

De maneira geral, a cevada, como planta C<sub>3</sub>, requer temperaturas médias de 20 a 30°C para seu desenvolvimento. A cada 10°C de elevação na temperatura média, a taxa de crescimento das culturas pode duplicar (Floss, 2004). De acordo com o estágio fenológico da cevada, o efeito da temperatura pode alterar seu desenvolvimento, mesmo que tais efeitos não sejam sempre visíveis.

Durante a germinação, temperaturas inferiores a 3°C e, superiores a 30°C, podem interromper

o início desta etapa. A temperatura ótima para o processo de germinação da cevada está em torno de 20°C. Em condições normais de temperatura do solo, são necessários de 5 a 10 dias para a emergência do coleótilo e o início da formação das primeiras folhas. De maneira geral, na fase de plântula, temperaturas abaixo de 5°C negativos produzem morte das plântulas e redução da população (Árias, 1995).

Em relação ao afilhamento, baixas temperaturas reduzem a produção de primórdios e aumentam a duração deste subperíodo de desenvolvimento, reduzindo, portanto, a competição por nutrientes. Altas temperaturas tendem a reduzir o número final de afilhos, consequência do incremento da demanda por carboidratos, pelo colmo principal (primeiro a ser emitido). Por outro lado, temperaturas baixas atrasam a passagem da etapa de afilhamento para alongação (Garcia del Moral & Garcia del Moral, 1995).

O início da diferenciação floral é antecipado e a velocidade de desenvolvimento da espiga aumenta com a temperatura, até que o número final de flores, por inflorescência, reduz-se, possivelmente porque o incremento de temperatura acelera a diferenciação floral e estimula o crescimento de folhas e colmos, aumentando a competição por assimilados e a disponibilidade para a diferenciação de novas espiguetas. Por outro lado, temperaturas baixas reduzem a velocidade de crescimento dos demais órgãos, diminuindo a competição por assimilados. Assim, os primórdios alcançam tamanho maior, elevando sua sobrevivência e, portanto, o número de grãos por espiga (Del Moral & Ramos, 1989).

A temperatura propriamente dita também interfere na fase de enchimento de grãos. A temperatura considerada ótima para esta fase situa-se entre 14 a 18°C. Assumindo uma relação linear, o aumento de 1°C na temperatura média diária implica na redução de 4% no rendimento de grãos (Schelling et al., 2002). Temperaturas elevadas, durante esta etapa, reduzem o peso individual dos grãos, já que aceleram o ciclo, não havendo compensação por outra via (Sofield et al., 1977). Temperaturas elevadas, nesta fase, também aceleram a senescência das folhas, embora a redução no peso dos grãos, devido a temperaturas elevadas, possa ser independente da senescência. Igualmente, temperaturas elevadas reduzem no acúmulo de carboidratos, devido ao incremento na respiração (Wiegand & Cuellar, 1981), elevando, proporcionalmente, o teor de proteína do grão. No grão de cevada, teores protéicos superiores a 12% podem prejudicar o processo de malteação, reduzindo o rendimento (Peruzzo et al., 1996) e a qualidade do malte (QI et al., 2005).

A temperatura tem sido utilizada, frequentemente, como variável principal em modelos computadorizados de desenvolvimento de culturas, visando à predição das etapas fenológicas, os riscos de epidemias e o manejo de cultivos (McMaster & Wilhelm, 2003).

### Resposta à vernalização

A vernalização tem sido um dos aspectos menos caracterizados no desenvolvimento dos cereais, devido às dificuldades oriundas do isolamento dos requerimentos da vernalização, frente a outras necessidades da planta (Hay & Ellis, 1998).

Na maioria das cevadas de inverno e em muitas de primavera, as sementes necessitam ser vernalizadas em baixas temperaturas, em torno de 3 a 12 °C, para germinação e desenvolvimento inicial uniforme, com vistas a um florescimento sincronizado. A vernalização afeta a duração do período vegetativo, porém, há evidências em outros cereais, como o trigo, de que seus efeitos possam ser observados, também, em outros estádios (Rahman, 1980).

### 2.3 Radiação solar

A radiação solar é a fonte de energia para a fotossíntese, que é o processo utilizado pelas plantas para converter água e dióxido de carbono em açúcares simples. A partir daí, outros processos convertem a fotossíntese em produtividade biológica e econômica, incluindo carboidratos, proteínas e óleos (Gardner et al., 1985).

A radiação solar torna-se disponível, como fonte de energia para a cultura, somente quando interage

com o dossel. Numa cultura sadia, adequadamente suprida com água, a produção de fitomassa é proporcional à radiação solar absorvida pelo dossel. A radiação solar que chega até a biosfera, onde existem os seres vivos, apresenta, em maior proporção, comprimentos de onda entre 290 nm a 3.000 nm. A radiação em comprimentos de ondas curtas é absorvida nas camadas superiores da atmosfera, pelo ozônio e pelo oxigênio, enquanto as radiações de grande comprimento de onda são absorvidas pelo vapor de água e pelo dióxido de carbônico. Aproximadamente 45% da radiação solar encontram-se dentro da faixa espectral de 380 a 710 nm, que é utilizada na fotossíntese (Larcher, 2000).

Ao estudar o problema de baixa luminosidade, Willey & Holliday (1971) concluíram que a ocorrência de períodos, com bastante nebulosidade, poderá originar deficiência fotossintética e, como consequência, redução considerável no peso e número de grãos. Plantas de cevada submetidas a déficit de luz, após o florescimento (estágio 10.5.3. da escala de Large, 1954), tiveram redução de 20% no peso dos grãos, segundo estudos realizados por Judel & Mangel (1982).

## 2.4 Fotoperíodo

A cevada é uma espécie de dias longos, ou seja, ela responde ao crescimento do fotoperíodo, acelerando o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, reduzindo a duração da fase vegetativa.

Sob condições de fotoperíodos curtos, há favorecimento da produção de folhas (alargamento do ciclo vegetativo) e atraso na indução floral (Del Moral & Ramos, 1989). A duração do período compreendido entre a semeadura, a germinação das sementes e a emergência das plântulas do solo é independente do fotoperíodo. Isto ocorre porque são as folhas que reconhecem o estímulo do fotoperíodo, transmitindo-o ao meristema. Portanto, somente após a emergência da plântula é que este estímulo pode ser percebido. Tal qual outras espécies, a cevada também pode apresentar um período juvenil, em que é insensível ao fotoperíodo (Evans, 1987).

Na cevada, o momento do espigamento pode ser resultante de uma forte interação entre o fotoperíodo e a temperatura. Um eventual atraso na diferenciação de estruturas reprodutivas, devido às temperaturas baixas, pode, até certo nível, ser compensado por fotoperíodo longo.

## 2.5 Vento

O vento, em si mesmo, não é considerado um fator significativo no processo de desenvolvimento da cevada, principalmente pela dificuldade de mensuração de seus efeitos, frente a outras possíveis variáveis.

Dinamicamente, o movimento do ar sobre a superfície das folhas promove, por advecção, a remoção do vapor de água acumulado, aumentando o déficit de saturação e o gradiente de potencial hídrico, incrementando, conseqüentemente, a transpiração (Sutcliffe, 1980). Contudo, em velocidades maiores, pode ocorrer o fechamento dos estômatos, diminuindo a taxa transpiratória (Floss, 2004).

## 3. EVENTOS ADVERSOS

Dentre os principais eventos agroclimáticos adversos, para o cultivo de cevada no Brasil, estão incluídos o granizo, as chuvas excessivas (excesso hídrico), as secas e as geadas.

### 3.1 Granizo e chuva intensa

As chuvas fortes e intensas, normalmente, não têm potencial destrutivo muito grande. Porém, quando associadas aos ventos fortes, podem causar acamamento, desorganizando a estrutura do dossel, aumentando o auto-sombreamento e, muitas vezes, inviabilizando a colheita das áreas acamadas.

As precipitações de granizo, embora de ocorrência esporádica e localizada, podem, nas lavouras diretamente atingidas, causar prejuízos de grande monta. O granizo tem efeito físico sobre as plantas,



danificando a área foliar e, ou, quebrando os colmos. Quando o evento ocorre na fase vegetativa, sem danos ao meristema apical, a lavoura pode se recuperar e se desenvolver normalmente. Entretanto, a partir do emborrachamento, dependendo da intensidade do fenômeno, os danos podem ser elevados e, não raramente, totais.

### 3.2 Seca e veranico

A cevada, assim como os demais cereais de inverno, é sensível à estiagem nos períodos críticos ao estresse hídrico, que são a floração e a formação de grãos. Em especial, a viabilidade dos grãos de pólen depende da disponibilidade de água na floração, sob pena de aumento da taxa de esterilidade (Del Moral & Ramos, 1989). Como consequência, a cevada é sensível à murcha fisiológica, que ocorre sob temperaturas superiores a 28°C, especialmente durante a fase de formação de grãos, com reflexos na redução do peso de grãos e no aumento proporcional do peso de cascas (Bellido, 1991), além de resultar em maior esterilidade das espigas (falhas de granação).

A capacidade de tolerar estresse hídrico, causado por seca, está ligada à profundidade e ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Semeaduras realizadas em solos bem estruturados, cultivadas em sistema plantio direto, apresentam maior resistência aos curtos períodos de estiagem, pois tanto as raízes primárias quanto as adventícias se tornam mais profundas e capazes de manter, por mais tempo, a umidade da planta.

Existem diferenças genéticas quanto à resposta ao estresse hídrico. Normalmente, cultivares de porte mais baixo, detentoras de genes de nanismo, apresentam maior susceptibilidade ao estresse hídrico, em relação às cultivares mais altas.

Para a formação de grãos de cevada, o limite crítico da fração de água evapotranspirada é de 0,25 a 0,35. (Gollan et al., 1986).

### 3.3 Vento intenso

Apesar da não interferência relevante sobre o desenvolvimento da cevada, em condições extremas, o vento pode promover danos físicos, desde injúrias localizadas nas folhas até o desfolhamento total da planta (Cleugh et al., 1998). Como já é conhecido, o acamamento de plantas, sem dúvida, é a mais importante ação do vento sobre lavouras de cevadas. A magnitude do acamamento, além da velocidade do vento, decorre também de práticas de manejo da cultura, como doses elevadas de nitrogênio e, ou, de características genéticas, que determinam a existência de cultivares mais altas e de estruturas mais fracas.

Efeitos prejudiciais do acamamento de plantas, em cevada, são relatados por Eassen et al. (1993) e Berry et al., 2003. Acamamento precoce, ocorrido durante o emborrachamento e o espigamento da cevada, pode proporcionar danos significativos sobre a germinação de grãos (Caierão, 2007), prejudicando a viabilidade do uso para a indústria de malte e cerveja.

Não há registros bibliográficos relacionando diferentes níveis de danos, em cevada, em função da velocidade do vento ou mesmo a definição de um “valor limite” para seu desenvolvimento.

### 3.4 Geadas

O processo fisiológico e bioquímico, relacionado à resistência à geada ou à adaptação das plantas a baixas temperaturas, é extremamente complexo.

Em geral, a cevada é 2 °C mais tolerante a geadas que o trigo. A magnitude dos efeitos promovidos pelas geadas, em cevada, depende da característica genética da cultivar, do estágio de desenvolvimento da cultura, da condição nutricional da planta, da umidade do ar e do nível de estresse da planta (Knell & Rebbeck, 2007). Quando ocorre geada na floração, praticamente, não há resistência genética disponível, tendo como consequência o abortamento completo das flores, sendo seus efeitos irreversíveis (Sorrels & Simmons, 1992). Neste estágio, temperaturas de -4°C são letais às inflorescências da cevada, sendo que, a partir de -1°C, danos fisiológicos podem ser percebidos. Segundo Rosemberg et al. (1983),

a temperatura letal para a fase vegetativa é de  $-11^{\circ}\text{C}$  em campo, mas efeitos fisiológicos danosos à produtividade podem ser detectados em temperaturas de  $-4^{\circ}\text{C}$ . Destaque-se também que a geada pode causar a degradação das estruturas vasculares de transporte de nutrientes, pelo congelamento do tecido. Geadas tardias, próximas à maturação, podem reduzir o poder germinativo do grão, tendo efeitos danosos sobre a qualidade industrial para produção de malte e cerveja.

A aclimação ao frio é um processo conhecido e importante, no que diz respeito à tolerância à geada. Este processo induz alterações no potencial osmótico das células, tornando a planta mais tolerante (Rapacz et al., 2000).

O conteúdo de prolina livre nas células é um marcador bioquímico normalmente usado para caracterizar genótipos com maior adaptação à geada (Petcu et al., 2000). Estes autores encontraram uma correlação significativa entre a quantidade de prolina nas folhas, em plantas aclimatadas, e a tolerância à geada. Para genótipos aclimatados a temperaturas de  $2^{\circ}\text{C}$ , sob 10 horas de fotoperíodo, por 7 dias, o conteúdo de prolina livre nas folhas foi positivamente correlacionado com a resistência à geada ( $r = 0,97^{**}$ ). Por sua vez, genótipos aclimatados, sob condições normais, não apresentaram correlação significativa ( $r = 0,12\text{ns}$ ) entre o conteúdo de prolina e a resistência à geada. A aclimação, em condições de ausência de luz, revelou ainda um decréscimo no conteúdo de prolina nas folhas, indicativo de menor tolerância à geadas (Pectu et al., 2000).

Os riscos de perdas por geadas, em lavouras de cevada no Brasil, são minimizados pelo calendário de semeadura preconizado pelo Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), e pela adesão dos produtores às operações de segurança rural.

### 3.5 Chuva excessiva e, ou, excesso hídrico prolongado

A definição de “excesso hídrico” em cevada não é objetiva, dependendo da tolerância da cultivar a este estresse abiótico. A ocorrência de chuvas acima dos valores normais, ou de intensidade elevada, pode afetar a cultura da cevada, de forma direta ou indireta. Ao proporcionar a manutenção da umidade do ambiente, em níveis elevados, favorece a proliferação de fungos, viroses e bactérias, que causarão danos à cultura. Em solos mal drenados, com tendência a alagamento, as perdas podem ser ocasionadas por encharcamento, interferindo em múltiplos processos.

O excesso hídrico também pode afetar negativamente a qualidade do grão, se ocorrer próximo ao momento final de maturação. Quando a germinação dos grãos de cevada é afetada, a viabilidade do processo de malteação também sofre interferência, uma vez que o rendimento de extrato obtido será menor. Também, neste caso, é alterada, para pior, a qualidade final do malte (Burger, 1985). Destaque-se que, uma vez iniciada a germinação dos grãos, ainda na espiga (Pre-Harvest Sprouting), o processo é irreversível.

Indiretamente, pode-se considerar que o excesso de chuvas, em geral, está associado à maior nebulosidade, causando redução de luminosidade sobre as plantas. Com isso, há redução na taxa fotossintética (acúmulo de fotoassimilados), podendo ocorrer enchimento deficiente de grãos. Este tipo de efeito pode ser crítico por ocasião do florescimento, ocasionando, por vezes, abortamento floral e redução no componente do rendimento e no número de espiguetas férteis, por espiga.

O excesso de umidade, no período de maturação da cevada, com reflexos na armazenagem do produto colhido, favorece a ocorrência de fungos, tais como o *Fusarium* sp., o *Aspergillus* sp. e o *Penicillium* sp., principais agentes da produção de micotoxinas. Estas toxinas caracterizam-se por serem altamente danosas à qualidade dos grãos, exigindo, por vezes, a eliminação de lotes imprestáveis para a utilização humana (cerveja, por exemplo). Dentre as principais micotoxinas produzidas por estes fungos, pode-se destacar a aflatoxina, produzida pelos fungos *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, o DON (Deoxinivalenol) e a Vomitoxina, produzidos por diferentes espécies de *Fusarium*, muito comuns em grãos de cevada (Árias, 1995). Em geral, as empresas cervejeiras têm controle rígido sobre o percentual de micotoxinas nos grãos recebidos dos produtores, já que não há metodologias viáveis para eliminação completa da toxina, uma vez produzida. Níveis elevados de *Fusarium* sp., em grãos de cevada, podem estar associados à ocorrência de “Gushing”, efeito característico de efervescência da cerveja, ao abrir a garrafa.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

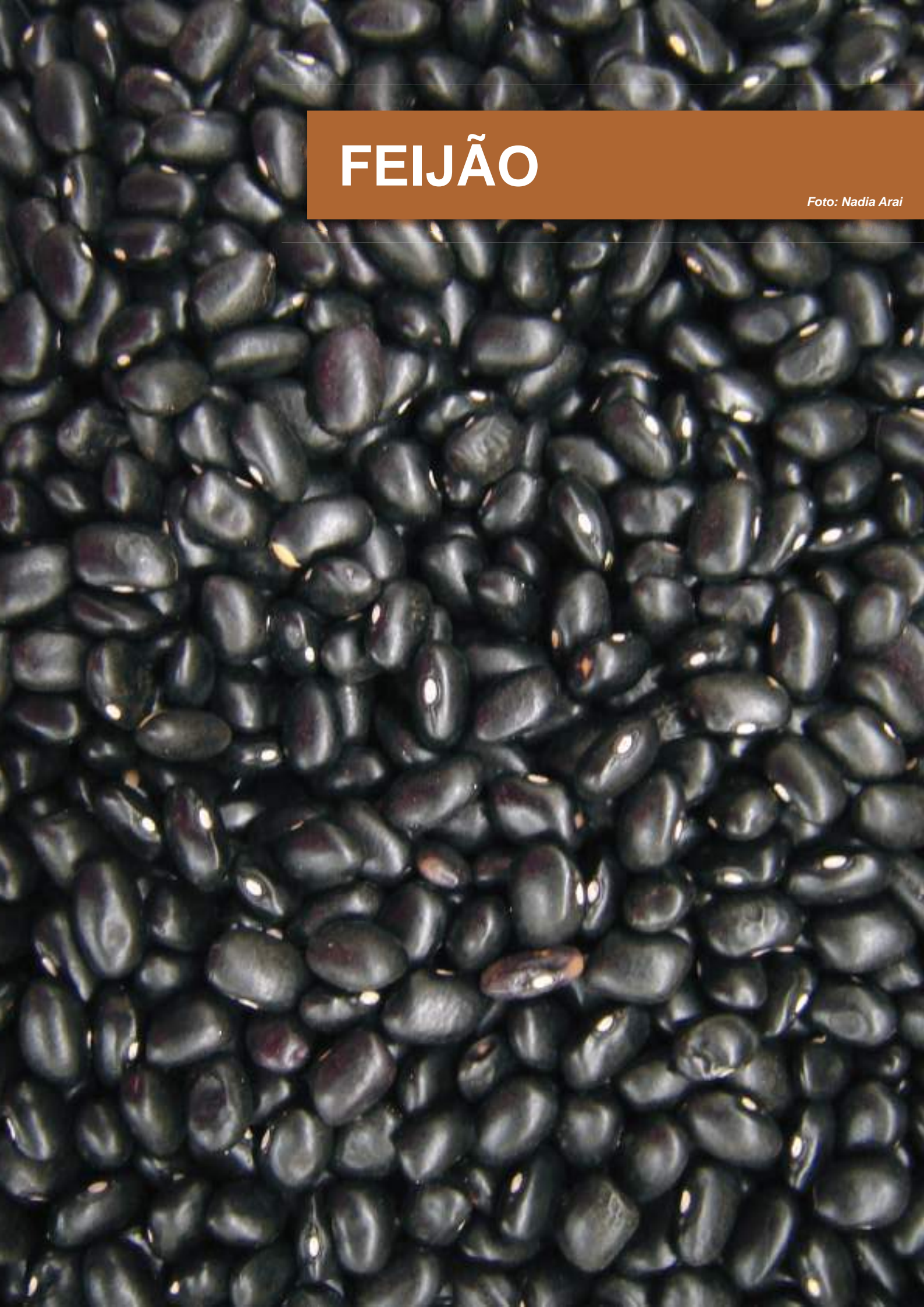
- ÁRIAS, G. **Mejoramiento genético y producción de cebada cervecera en América del Sur**. Santiago, Chile: FAO, 1995. 157 p.
- BANERJEE, S.; WIENHUES, F. Comparative studies on the development of the spike in wheat, barley and rye. **Plant Breeding = Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, Berlin, n. 54, p. 130-142, 1965.
- BELLIDO, L. L. **Cereales**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1991. 539 p.
- BERRY, P. M. et al. Method for rapidly measuring the lodging resistance of wheat cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Maiden, n. 189, p. 390-401, 1983.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BOTHMER, R. von; JACOBSEN, N.; BADEN, C. **An ecogeographical study of the Genus *Hordeum***: systematic and ecogeographical studies on crop gene pools. Rome: IBPGR, 1991.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria 691, de 22 de novembro de 1996. Define as características de identidade e qualidade da cevada para fins cervejeiros. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 de nov. de 1996.
- BRIGGS, D. E. **Barley**. London: Chapman and Hall, 1978.
- BURGER, W. C. Malting and brewing quality. In: RASMUSSEN, D. C. (Ed.). **Barley**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. 522 p.
- CAIERÃO, E. Effect of induced lodging on grain yield and quality of brewing barley. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 6, p. 215-221, 2007.
- CLEUGH, H.; MILLER, J.; BOHM, M. Direct mechanical effects of wind on crops. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 41, n. 1, p. 85-112, 1998.
- EASSEN, D. L. K.; WHITE, E. M.; PICKLES, S. J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, n. 121, p. 145-156, 1993.
- ELLIS, R. H. et al. Environmental control of flowering in barley (*Hordeum vulgare* L.) II. Rate of development as a function of temperature and photoperiod and its modification by low-temperature vernalization. **Annals of Botany**, London, n. 62, p. 154-158, 1988.
- EVANS, L. T. Short day induction of inflorescence initiation in some winter wheat varieties. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, n. 14, p. 277-286, 1987.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Faostat. **Dados históricos de área, produção e produtividade de cevada**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 9 nov. 2005.
- FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. Passo Fundo: UPF, 2004. 528 p.
- GARCIA DEL MORAL, L. F.; MIRALLES, D. J.; SLAFER, G. A. Initiation and appearance of vegetative and reproductive structures throughout barley development. In: SLAFER, G. A. et al. **Barley science: recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality**. New York: Food Products Press, 2002. 565 p.
- GARCIA DEL MORAL, L. F.; RAMOS, J. J. Fisiología de la producción de grano. In: MOLINA-CANO, J. L. **La cebada: morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales**. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación: Ed. Mundi-Prensa, 1989. 252 p.
- GARCIA DEL MORAL, M. B.; GARCIA DEL MORAL, L. F. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 44, p. 85-93 p, 1995.
- GARDNER, P. F.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants**. Iowa: Iowa State University Press, 1985. 337 p.
- GOOD, N. E.; BELL, D. H. Photosynthesis, plant productivity, and crop yield. In: CARLSON, P. S. **The biology of crop productivity**. New York: Academic Press, 1980. p. 3-51.
- GOLLAN, T.; PASSIOURA, J. B.; MUNNS, R. Soil water status effects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal Plant Physiology**, Melbourne, v. 13, p. 459-464, 1986.
- GUERRA, A. F.; SILVA, D. B. **Coefficientes de cultura (Kc) para a cevada BRS 180, cultivada em áreas irrigadas do cerrado**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 1999. (Guia técnico do produtor rural, n. 48).
- HAUM, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, n. 65, p. 116-119, 1973.
- HAY, R. K. M.; ELLIS, R. P. The control of flowering in wheat and barley: What recent advances in molecular genetics can reveal. **Annals of Botany**, London, n. 82, p. 541-554, 1998.
- JAMIESON, P. D. et al. Prediction of leaf appearance in wheat: a question of temperature. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 41, p. 35-44, 1995.
- JUDEL, G. K.; MENGEL, K. Effect of shading on nonstructural carbohydrates and their turnover in culms on leaves during the grain filling period of wheat and other cereals. **Crop Science**, Madison, v. 22, p. 958-962, 1982.
- KNELL, G.; REBBECK, M. **Managing frost minimising damage**. Barton: Grains Research and Development Corporation, 2007. (Technical bulletin).
- LACHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.
- LANGRIDGE, P.; BARR, A. R. Barley. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 54, p. 1-4, 2003.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals. **Plant Pathology**, Oxford, v. 3, p. 128-129, 1954.
- McMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. **Journal of Agricultural Science**, London, n. 141, p. 129-147, 2003.
- MOLINA-CANO, J. L. **La cebada**. Lerida: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries – Centro UPC-IRTA, 1989. 252 p.
- NUTTONSON, M. Y. **Barley-climate relation ships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photothermal requirements of barley**. Washington, DC: American Institute of Crop Ecology, 1957.
- OVIEDO, A. F. P.; HERZ, R.; RUDORFF, B. F. T. Efeito do estresse hídrico e da densidade de plantio no uso da radiação e produtividade da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). **Revista Biociência**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 23-33, 2001.
- PERUZZO, G. et al. Efeito do nitrogênio na cultura da cevada, 1993. In: REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE CEVADA, 14., 1994, Passo Fundo. **Resultados de pesquisa de cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1996. p. 65-68.
- PETCU, E. et al. Study on the relationship between frost resistance and free proline content in some winter wheat and barley genotypes, 2000. **Romanian Agricultural Research, Fundulea**, n. 13/14, p. 37-41, 2000.
- POEHLMAN, J. M. Adaptation and distribution. In: RASMUSSEN, D. C. (Ed.). **Barley**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. 522 p. cap. 1, p. 1-18.

- QI, J. et al. Protein and hordin fraction content in barley seeds as affected by sowing date and their relations to malting quality. **Journal of Zhejiang University Science**, Hangzhou, v. 6, n. 11, p. 1069-1075, 2005.
- RAHMAN, M. S. Effect of photoperiod and vernalization on the rate of development and apikelet number per spike in 30 varieties of wheat. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, North Ryde, n. 46, p. 68-70, 1980.
- RAPACZ, M.; PLAZEK, A.; NIEMCZYK, E. Fros de-acclimation of barley (*Hordeum vulgare* L) and meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.). relationship between soluble carbohydrate content and resistance to frost and the fungal fathogen bipolaris sorokiniana (Sacc.) Shoem. **Annals of Botany**, London, n. 86, p. 539-545, 2000.
- REID, D. A. Morphology and anatomy of the barley plant. In: RASMUSSEN, D. C. (Ed.). **Barley**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. 522 p.
- SCHELLING, K. et al. Relationship between yield and quality parameters of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) and phenological and meteorological data. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Bonn, v. 189, n. 2, p. 113-122, 2003.
- SLAFER, G. A. ; RAWSON, H. M. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modellers. **Australian Journal of Plant Physiology**, Mellbourne, n. 21, p. 393-426, 1994.
- SOFIELD, I. et al. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, n. 4, p. 785-797, 1977.
- SORRELS, M. E.; SIMMONS, S. R. Influence of environment on the development and adaptation of oat. In: MARSHALL, H. G.; SORRELS, M. E. (Ed.). **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p.115-163.
- SUTCLIFE, J. F. **As plantas e a água**. São Paulo: EPU/Edusp, 1980. 123 p.
- WEAVER, J. E. **Root development of field crops**. New York: McGraw-Hill Book ,1926.
- WIEGAND, C. L. ; CUELLAR, J. A. Duration of grain filling and weight of wheat as affected by temperature. **Crop Science**, Madison, n. 21, p. 95-101, 1981.
- WILLEY, R. W.; HOLLIDAY, R. Plant population and shading studies in barley. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 77, p. 445-452, 1971.
- ZAKOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Amsterdam, v. 4, n. 14, p . 415-21, 1974.



# FEIJÃO

Foto: Nadia Arai





# FEIJÃO

Alexandre Bryan Heinemann<sup>(1)</sup>

Luís Fernando Stone<sup>(2)</sup>

Silvando Carlos da Silva<sup>(3)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão é uma leguminosa que se destaca em vários continentes, sendo uma importante fonte de proteína, fósforo, ferro, vitamina B1 e fibra para o ser humano. Entre seus principais consumidores destacam-se os povos das Américas do Sul e Central, da África e da Ásia, que desenvolveram uma enorme diversidade de produtos derivados. O feijão é uma planta do grupo C3. No Brasil, predomina o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), que é cultivado em quase todo território nacional. Dependendo da região, essa leguminosa é cultivada em três safras anuais. A primeira safra, conhecida como safra das “águas”, é semeada entre agosto e dezembro, concentrando-se mais nos Estados da Região Sul. A segunda safra, denominada safra da “seca”, abrange todos os Estados brasileiros e sua semeadura ocorre entre janeiro e abril. A terceira safra, conhecida como safra de “inverno”, concentra-se na região tropical e é semeada de maio a agosto, dependendo da região (Yokoyama et al., 1996). O feijoeiro, de acordo com seu subconjunto gênico (gene pool), pode ser classificado, basicamente, em duas raças, Mesoamericana e Sulamericana (Andes), cada raça possuindo, ainda, três sub-raças, conforme ilustra a Tabela 1.

**Tabela 1. Classificação de cultivares de feijoeiro, de acordo com seu subconjunto gênico.**

Raça	Semente	Faseolina <sup>1</sup>	Hábito <sup>2</sup>	Exemplos de cultivares
<b>Mesoamericana</b>				
1. Mesoamérica	Pequena, cilíndrica, oval	S, Sb, B	I; II; III; IV	Brasil <sup>2</sup> , Jamapa, Mulatinho
2. Durango	Média, romboédrica	S, Sb	III	Pinto, Bayo
3. Jalisco	Média, cilíndrica, oval, redonda	S	IV	Frijola, Flor de mayo
<b>Sulamericana</b>				
4. Nueva Granada	Média, grande, cilíndrica	T	I; II; III	Jalo, Bagajó
5. Chile	Média, oval, redonda	C, H	III	Frutilla, Tortolas
6. Peru	Média, grande, oval, redonda	T, C, H	IV	Cargamanto, Nuñas

<sup>1</sup> Faseolina: S, Sb, B, T, C, H – variantes eletroforéticos desta proteína;

<sup>2</sup> Hábito: I – determinado arbustivo, com ramificação ereta e fechada; II – indeterminado, com ramificação ereta e fechada; III – indeterminado, com ramificação aberta; e IV – indeterminado, prostrado ou trepador.

Fonte: Adaptado de Zimmermann et al. (1996)

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Arroz e Feijão, Rodovia GO-462, km 12, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: alexbh@cnpaf.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Arroz e Feijão. E-mail: stone@cnpaf.embrapa.br

3- Eng. Agrícola, Mestre, Pesquisador, EMBRAPA – Arroz e Feijão. E-mail: silvando@cnpaf.embrapa.br

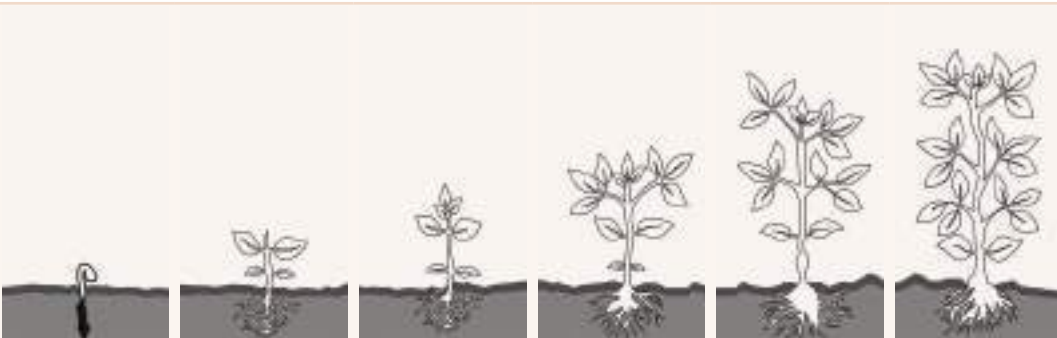



### 1.1 Fenologia e desenvolvimento

O feijão, basicamente, apresenta quatro tipos de hábitos de crescimento: a) Tipo I – determinado arbustivo, com ramificação ereta e fechada; b) Tipo II – indeterminado, com ramificação ereta e fechada; c) Tipo III – indeterminado, com ramificação aberta; e d) Tipo IV – indeterminado, prostrado ou trepador (Vilhordo et al., 1980).

O desenvolvimento, tanto das plantas com hábito de crescimento determinado quanto indeterminado, pode ser dividido em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R), como mostra a Tabela 2. O estágio vegetativo é caracterizado pelo número de nós no colmo principal, tendo início no primeiro nó da primeira folha trifoliolada (V1); e o estágio reprodutivo é descrito em função do aparecimento das vagens e grãos aos nós.

**Tabela 2. Características fenológicas do feijoeiro.**

<b>Etapa</b>						
<b>Estádio</b>	VE	VC	V1	V3	V5	Vn
<b>Fase Vegetativa</b>	Emergência	Cotilédone	Primeiro Nó	Terceiro Nó	Quinto Nó	n Nós
<b>Folha trifoliolada</b>	0	0	1	3	5	n folhas

<b>Etapa</b>							
<b>Estádio</b>	R1 - Início da floração	R2 - Totalmente florido	R3 – Início da formação de vagens	R4 – Vagens totalmente desenvolvidas nos nós superiores	R5 - Início do enchimento de grãos	R6 – Grãos enchidos	R7 – Início da Maturação Fisiológica
<b>Fase Reprodutiva</b>	Florescimento	Florescimento	Desenvolvimento da vagem	Vagens desenvolvidas	Enchimento de grãos	Enchimento de grãos	Maturação Fisiológica

Fonte: Adaptado de <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub811/4stages.htm#table412>

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade hídrica

Existem, na literatura, algumas informações sobre o consumo de água pelo feijoeiro, geralmente obtidas por meio do balanço hídrico de campo ou do uso de lisímetros. Pela análise dessas informações, conclui-se que o consumo de água é variável com o local, estágio de desenvolvimento e época de semeadura.

A variação local do consumo de água pode ser observada na Tabela 3, onde são apresentados consumos médios diários, variando de 2,8 a 5,2 mm. O efeito do estágio de desenvolvimento é apresentado nas Tabelas 4 e 5, verificando-se que o maior consumo ocorre na floração (Oliveira & Silva, 1990). Em Barreiras - BA, observou-se que o maior consumo de água, da ordem de 5,3 mm dia<sup>-1</sup>, ocorreu no período compreendido entre 52 e 58 dias do ciclo, correspondendo ao estágio final da floração e início da formação de vagens.

**Tabela 3. Consumo médio diário de água, pelo feijoeiro, em diversas localidades.**

Localidade	Consumo médio diário (mm dia)	Referência
Paraná	2,8-4,1	Oliveira & Villa Nova (1996)
Norte de Minas Gerais	5,00	Caixeta et al. (1978)
Sul de Minas Gerais	3,20	Purcino et al. (1978)
Careaçu, Minas Gerais	3,34	Garrido & Teixeira (1978a)
Vale do Sapucaí, MG	4,17	Garrido & Teixeira (1978b)
Monte Alegre do Sul, SP	2,90	Demattê et al. (1974)
Ribeirão Preto, SP	3,50	Demattê et al. (1974)
Piracicaba, SP	4,37	Encarnação (1980)
Piracicaba, SP	3,80	Bergamaschi et al. (1989)
Piracicaba, SP	4,01	Santos & André (1992)
Santo Antônio de Goiás, GO	3,50	Silveira et al. (1981a)
Santo Antônio de Goiás, GO	4,50	Steinmetz (1984)
Santo Antônio do Leverger, MT	5,20	Curi & Campelo Júnior (2001)
Barreiras, BA	3,90	Oliveira & Silva (1990)

**Tabela 4. Evapotranspiração do feijoeiro, em Santo Antônio de Goiás, GO.**

Estádio de desenvolvimento	Silveira et al. (1981a)		Steinmetz (1984)	
	Duração (dias)	Evapotranspiração (mm dia <sup>-1</sup> )	Duração (dias)	Evapotranspiração (mm dia)
Germinação ao início da floração	49	3,4	35	3,4
Floração	28	3,5	25	6,0
Desenvolvimento de vagens à maturação	20	3,6	20	4,7

**Tabela 5. Evapotranspiração do feijoeiro, em diferentes estádios, em Piracicaba, SP.**

Estádio de desenvolvimento	Duração (dias)	Evapotranspiração (mm dia <sup>-1</sup> )
Semeadura-emergência (V <sub>1</sub> )	11	2,4
V <sub>1</sub> – 3ª folha trifoliada (V <sub>4</sub> )	20	2,6
V <sub>4</sub> – pré-floração (R <sub>2</sub> )	21	3,8
R <sub>5</sub> – início da floração (R <sub>6</sub> )	10	4,5
R <sub>6</sub> – início do enchimento dos grãos (R <sub>8</sub> )	11	5,0
R <sub>8</sub> – maturação fisiológica	22	4,8

Fonte: Adaptado de Bergamaschi et al. (1989).

Em condições de ótima disponibilidade de água no solo, a perda de água do feijoeiro, pela evapotranspiração, é função da cobertura vegetal e, principalmente, das condições meteorológicas. Assim, a radiação solar, a velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar são os principais parâmetros que irão determinar a magnitude da evapotranspiração. Todos estes parâmetros variam com a época do ano e, conseqüentemente, a evapotranspiração também varia. Isto está evidenciado pelos dados de Stone & Silveira (1995), verificando que, à medida que a semeadura do feijoeiro foi realizada mais tardiamente, a partir de abril, houve um aumento no consumo de água (Tabela 6).

**Tabela 6. Evapotranspiração (ETc) do feijoeiro, em função do mês de semeadura, em Santo Antônio de Goiás, GO.**

Mês de Semeadura	ETc (mm dia <sup>-1</sup> )							ETc ciclo (mm)
	Abr.	maio	Jun.	jul.	ago.	set.	out.	
Abril	2,9	4,6	3,9					294,5
Maio		2,5	4,8	4,5				297,5
Junho			2,6	5,5	5,4			336,5
julho				3,0	6,7	5,3		378,5
Agosto					3,6	6,5	4,8	384,5

Fonte: Stone & Silveira (1995).

No cálculo do requerimento de água pelo feijoeiro, normalmente, considera-se que cerca de 80% (Oliveira & Silva, 1990; Wutke et al., 2000) a 90% (Stone & Pereira, 1994) das raízes concentram-se na camada de 0 a 40 cm. Caixeta et al. (1983) verificaram que 75% das raízes do feijoeiro irrigado estavam concentradas até a profundidade de 20 cm. Geralmente, considera-se 30 cm como a profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro, sob condições de irrigação por aspersão tipo pivô central.

O consumo de água determinado, para condições específicas de um local, ano e época de semeadura, não pode ser extrapolado para outras condições, em valores absolutos, uma vez que a evapotranspiração medida em um determinado local é função, basicamente, das condições meteorológicas ocorridas durante o desenvolvimento da planta. Para que se tenham condições de estimar a necessidade hídrica de uma cultura, em uma condição específica, é necessário determinar os coeficientes, denominados “coeficientes de cultura” ( $K_c$ ), por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura ( $E_{tc}$ ), medida no campo, e a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), determinada com base em alguns elementos meteorológicos ou fórmulas de estimativa de evaporação ou evapotranspiração. Uma vez conhecidos os valores de  $K_c$ , pode-se estimar a demanda de água, pelo feijoeiro, em um determinado local, época de semeadura e estágio de desenvolvimento, pela multiplicação destes valores pela evapotranspiração de referência verificada naquelas condições.

Santos & André (1992) verificaram que os valores de  $K_c$ , ao longo do ciclo do feijoeiro, estavam altamente relacionados com os valores do índice de área foliar, variando de 0,15, no final do ciclo, a 1,43, no final do estágio vegetativo e início do período de floração. Medeiros et al. (2000) também verificaram que os valores de  $K_c$  do feijoeiro estavam relacionados com a porcentagem de cobertura vegetal. Steinmetz (1984) determinou os valores do  $K_c$  para três fases do ciclo do feijoeiro (Tabela 7), utilizando o lisímetro para medir a  $E_{tc}$  e, o tanque Classe A para estimar a  $E_{To}$ . Bergamaschi et al. (1989) e Curi & Campelo Júnior (2001) apresentaram valores de  $K_c$  para vários estágios do ciclo do feijoeiro. No caso dos primeiros autores, os valores foram obtidos com base no método de Penman ( $K_{c1}$ ) e na evaporação do tanque Classe A, não corrigida ( $K_{c2}$ ) (Tabela 8). Os outros autores utilizaram lisímetros, com a cultura do feijoeiro, para determinar a  $E_{tc}$  e, com grama *Paspalum notatum*, para determinar a  $E_{To}$  (Tabela 9).

Stone & Silva (1999) determinaram o coeficiente de cultura para o feijoeiro, no sistema plantio direto (Tabela 10). Verificaram que o valor mais elevado, 1,06, ocorreu dos 45 aos 54 dias após a emergência. Comparando com o valor máximo de  $K_c$ , obtido por Steinmetz (1984), no sistema convencional de plantio, que foi igual a 1,28, observa-se que o sistema plantio direto propiciou economia de água de cerca de 20%.

**Tabela 7. Coeficiente de cultura ( $K_c$ ), para três estágios do ciclo do feijoeiro, em Santo Antônio de Goiás, GO.**

Estádio de desenvolvimento	Duração (dias)	$K_c$
Germinação ao início da floração	35	0,69
Floração	25	1,28
Desenvolvimento de vagens à maturação	20	1,04

Fonte: Steinmetz (1984).

**Tabela 8. Coeficiente de cultura (Kc), para vários estádios do ciclo do feijoeiro, em Piracicaba, SP.**

Estádio de desenvolvimento	Duração (dias)	Kc <sub>1</sub> <sup>1</sup>	Kc <sub>2</sub> <sup>2</sup>
Semeadura-emergência (V <sub>1</sub> )	11	0,58	0,48
V <sub>1</sub> - 3ª folha trifoliada (V <sub>4</sub> )	20	0,68	0,56
V <sub>4</sub> – pré-floração (R <sub>2</sub> )	21	0,94	0,77
R <sub>5</sub> – início da floração (R <sub>6</sub> )	10	1,26	1,02
R <sub>6</sub> – início do enchimento dos grãos (R <sub>8</sub> )	11	1,41	1,07
R <sub>8</sub> – maturação fisiológica	22	1,22	0,92

Fonte: Adaptado de Bergamaschi et al. (1989).

<sup>1</sup>Kc<sub>1</sub> = evapotranspiração da cultura (ETc)/evapotranspiração calculada pelo método de Penman.

<sup>2</sup>Kc<sub>2</sub> = Etc/evaporação do tanque Classe A, não corrigida.

**Tabela 9. Coeficiente de cultura (Kc), para vários estádios do ciclo do feijoeiro, cultivar Jalo Precoce, em Santo Antônio do Leverger, MT.**

Estádio de desenvolvimento	Duração (dias)	Kc
Germinação (V <sub>0</sub> )	6	0,60
Emergência (V <sub>1</sub> )	2	0,37
Desdobramento das folhas primárias (V <sub>2</sub> )	6	0,98
Emissão da primeira folha trifoliada (V <sub>3</sub> )	8	1,37
Emissão da terceira folha trifoliada (V <sub>4</sub> )	9	1,09
Emissão dos botões florais (R <sub>5</sub> )	5	1,76
Floração (R <sub>6</sub> )	6	1,42
Formação de legumes (R <sub>7</sub> )	9	1,79
Enchimento de legumes (R <sub>8</sub> )	12	1,50
Maturação (R <sub>9</sub> )	12	0,90
V <sub>0</sub> – R <sub>9</sub>	75	1,18

Fonte: Adaptado de Curi & Campelo Júnior (2001).

**Tabela 10. Coeficientes de cultura do feijoeiro, cultivar Aporé, no sistema plantio direto, em Santo Antônio de Goiás, GO.**

Dias após a emergência	Coeficiente de cultura
0-14	0,49
15-24	0,69
25-34	0,77
35-44	0,90
45-54	1,06
55-64	0,89
65-74	0,74
75-84	0,48
85-94	0,27

Fonte: Stone & Silva (1999)

Existem, na literatura, algumas variações entre os valores de Kc, devidos, possivelmente, à cultivar utilizada e às práticas culturais. Para fins de planejamento da irrigação, entretanto, tais variações não são muito importantes.

Embora os fatores preponderantes sejam aqueles relacionados com a demanda evaporativa da atmosfera, as características de crescimento e desenvolvimento das plantas, que estão naturalmente associadas à cultivar utilizada e ao manejo da cultura e do solo, entre outros, também exercem influência sobre o consumo de água. A cultivar de feijoeiro afeta a perda de água por meio da quantidade de energia solar interceptada, que depende do índice de área foliar, da arquitetura da planta e da extensão e características da superfície transpirante. O sistema radicular também afeta a perda de água, na medida em que suas características (densidade, profundidade, e eficiência na absorção de água) influenciam na quantidade e na velocidade com que a água é absorvida e, sua resistência ao fluxo de água influencia no movimento da água dentro da planta. Guimarães (1992) observou diferenças entre cultivares de feijão, em relação à densidade radicular linear e à eficiência na absorção de água. A estrutura da planta e a sua coloração modificam o albedo, que é coeficiente de reflexão para radiação de onda curta, acarretando uma variação no balanço de energia da superfície evaporante, que afeta a radiação líquida e, conseqüentemente, a variação das perdas de água, das plantas para a atmosfera. Em cultivares com maior albedo, a perda de água é menor. A rugosidade aerodinâmica do dossel afeta a transferência de calor para a atmosfera (emissão de ondas longas). Cultivares que propiciam um dossel mais rugoso apresentam menor emissão de ondas longas e, por conseqüência, maior evapotranspiração. A conectividade e a capacidade termal da cultivar afetam o fluxo de calor do dossel e do solo.

O efeito da extensão da superfície transpirante, na perda de água, pode ser observado pelos resultados obtidos por Bergamaschi et al. (1988a). Estes autores, trabalhando com a cultivar Aroana 80, verificaram que, para um índice de área foliar (IAF) de 1,80, o balanço de energia mostrou que 87% da energia líquida foi utilizada como calor latente de evaporação (evapotranspiração), 7% como calor sensível (aquecimento do ar) e 6% como calor destinado ao aquecimento do solo,

ao longo de todo o dia. Para um IAF de 1,25, 77% da energia líquida foi utilizada como calor latente de evaporação, 16% como calor sensível, e 7% como fluxo de calor para o solo. Portanto, a diferença de cobertura do solo, em decorrência da área foliar, determinou que, com maior IAF, maior quantidade de energia foi destinada à evapotranspiração, sobrando menos para o processo de aquecimento do ar. Oliveira & Silva (1990) verificaram, para a cultivar IPA 74-19, que o maior IAF ocorreu, simultaneamente, com a máxima evapotranspiração da cultura, evidenciando, assim, o efeito da área foliar fotossinteticamente ativa na demanda de água pelas plantas. Bergamaschi et al. (1989) observaram que a evapotranspiração oscilou em função de variações do índice de área foliar, porém, atingindo um nível de estabilização a partir de determinado limite, o que seria, biologicamente, esperado.

Existem poucas informações na literatura sobre a comparação do consumo de água entre cultivares de feijão. Vieira et al. (1989) verificaram que a cultivar Aeté 3 apresentou menor consumo de água, durante o ciclo, em relação ao Aroana 80, considerando os mesmos tratamentos de regime hídrico no solo e estágio de desenvolvimento. Isto foi decorrente, em hipótese, da menor atividade do sistema radicular, que apresentou menor intensidade de esgotamento da água do solo, ou então, por outros fatores diferenciais entre as cultivares, tais como, resistência estomática à difusão de vapor de água, ajuste osmótico e fenômenos de paraheliotropismo. Os resultados obtidos por Stone & Pereira (1994) mostraram que a cultivar Safira, do tipo II, com crescimento indeterminado e plantas eretas, apresentou, no estágio de formação e enchimento das vagens, um consumo médio de água, expresso pelo valor do coeficiente de cultura no período, superior ao da linhagem TC1558-1, do mesmo hábito de crescimento e porte. A cultivar Safira apresentou um valor médio de Kc igual a 0,88 e, a TC 1558-1, um Kc de 0,65. A cultivar EMGOPA 201-Ouro, do mesmo hábito de crescimento e porte um pouco menos ereto, apresentou, no mesmo período, um Kc médio de 0,81.

O consumo de água é afetado pelo manejo da cultura, na medida em que este pode influenciar a arquitetura da planta e o índice de área foliar. Mack & Varseveld (1982), comparando as populações de 43 e de 21,5 plantas por m<sup>2</sup>, verificaram mais rápida depleção da água do solo na maior população. Guimarães et al. (1982) observaram que, na população de 30 plantas por m<sup>2</sup>, o feijoeiro consumiu um pouco mais de água do que na população de 20 plantas por m<sup>2</sup>, especialmente na floração. Os resultados obtidos por Stone & Pereira (1994) mostraram que, com a população de 50 plantas por m<sup>2</sup>, resultante do espaçamento entre linhas de 0,30 m e na densidade de 15 plantas m<sup>-1</sup>, o consumo médio de água, expresso pelo Kc, foi maior que na população de 30 plantas por m<sup>2</sup>, resultante do espaçamento entre linhas de 0,50 m e na densidade de 15 plantas m<sup>-1</sup>. Estes autores obtiveram, no estágio de formação e enchimento das vagens, valores de Kc de 0,83 e 0,78 para a cultivar EMGOPA 201-Ouro, 0,90 e 0,87 para a Safira e, 0,69 e 0,58 para a linhagem TC1558-1, com as populações de 50 e 30 plantas por m<sup>2</sup>, respectivamente.

O efeito do manejo do solo, no consumo de água pelo feijoeiro, já foi discutido quando da comparação entre os valores de Kc obtidos por Stone & Silva (1999), no sistema plantio direto (Tabela 8), e os obtidos no mesmo local por Steinmetz (1984), sob preparo convencional do solo (Tabela 5). Estes resultados foram confirmados por Stone & Moreira (2000), que verificaram que o plantio direto mais cobertura morta foi mais eficiente no uso da água, em relação ao sistema de preparo do solo com grade aradora. Com a cultivar Safira, de plantas eretas, a produtividade obtida em plantio direto mais cobertura morta, com 280 mm de água, foi semelhante à obtida com 400 mm, no preparo com grade, o que representa uma economia de água de 30%. Com a cultivar Aporé, por ter plantas prostradas, a economia foi menos expressiva. A máxima produtividade desta cultivar, no sistema de plantio direto mais cobertura morta, foi obtida com 343 mm de água, correspondente à obtida com 400 mm, no preparo com grade, o que representa uma economia de 14%. A palhada atua na primeira fase do processo de evaporação da água do solo, reduzindo a taxa de evaporação devido à reflexão de energia radiante. A taxa de redução depende da magnitude da cobertura morta, da arquitetura e do desenvolvimento do dossel da planta cultivada. Assim, quando a palhada é pouca ou rapidamente decomposta, a cultura cobre rapidamente o solo, e tal benefício não é tão expressivo.

Barros & Hanks (1993) observaram que a cobertura morta aumentou a eficiência do uso da água e a produtividade do feijoeiro, em todos os níveis de irrigação estudados. A relação entre evapotranspiração e produtividade, para a cobertura morta, foi linear, porém distinta para solo nu, indicando diferente partição da evapotranspiração, entre a evaporação de água do solo e a transpiração. Aumentos na produtividade parecem estar relacionados ao efeito da cobertura morta, que reduz a evaporação e aumenta a transpiração. Considerando o ciclo da cultura, houve aumento de, aproximadamente, 43 mm de água na transpiração e redução, da mesma magnitude, na evaporação, numa dada evapotranspiração, para os tratamentos com cobertura morta, em relação ao solo nu. Entretanto, para o mesmo nível de irrigação, a evapotranspiração foi menor nas parcelas com cobertura morta, em relação ao solo nu, indicando que, nem toda a água economizada foi para a transpiração.

Stone et al. (2006), estudando, por dois anos, os efeitos na economia de água de culturas, com variados graus de cobertura do solo, como braquiária, milho consorciado com braquiária, guandu anão, milheto, mombaça, sorgo granífero, estilosantes e crotalária, verificaram que o consumo de água depende da quantidade de palhada fornecida pela cultura e da respectiva taxa de decomposição. As palhadas de braquiária e mombaça, pela maior produção de matéria seca, propiciaram as menores perdas de água por evapotranspiração. As maiores diferenças entre as palhadas das culturas de cobertura, em relação à evapotranspiração do feijoeiro, ocorreram nos estádios iniciais e finais do ciclo, em que as plantas do feijoeiro cobriam menores proporções do solo. Entre os estádios V2 e o início de V4, no primeiro ano, a cobertura de braquiária proporcionou redução de 28% na evapotranspiração do feijoeiro, em comparação à de estilosantes. Nos estádios R8 e R9 tal redução foi, respectivamente, de 24% e 36%. Nos demais estádios, a redução situou-se entre 11% e 16%. No segundo ano, em comparação com a cobertura de guandu, a braquiária proporcionou reduções de 35% e 29%, nos dois primeiros estádios e, de 36% e 39%, nos dois últimos, respectivamente. Nos demais, as reduções variaram de 6% a 21%.

Pereira et al. (1999) observaram que a economia de água começa a ser importante a partir de 50% de cobertura do solo pela palhada, implicando em menor número de irrigações. Foi observado que, na ausência de cobertura do solo, foram realizadas 14 irrigações. Por outro lado, uma cobertura do solo de 50% permitiu economizar 7% de água, com um total de 13 irrigações. Com 75% de cobertura do solo, reduziu-se o consumo de água em 21%, irrigando-se 11 vezes a lavoura. Finalmente, o solo plenamente protegido possibilitou baixar em 29% o uso da água, perfazendo um total de 10 irrigações.

## 2.2 Temperatura

O feijoeiro apresenta uma ampla distribuição geográfica, sendo cultivado em todos os continentes, em regiões com diferenças térmicas entre 10°C e 35°C. A maior parte da produção de feijão é procedente de microrregiões com temperaturas do ar variando de 17°C a 25°C, faixa térmica considerada apropriada para a espécie (Portes, 1996).

Altas temperaturas, com radiação global intensiva, aumentam a transpiração e podem causar déficit hídrico.

A temperatura do ar pode ser considerada o elemento climático que maior influência exerce sobre a porcentagem de vingamento de vagens. Temperaturas elevadas causam efeitos prejudiciais ao florescimento e à frutificação do feijoeiro.

Com relação à germinação do feijoeiro, valores de temperatura em torno de 28°C são considerados ótimos.

É sabido que o rendimento de grãos do feijoeiro é bastante afetado quando a temperatura do ar, na floração, apresenta valores acima de 35°C. Da mesma forma, temperaturas do ar abaixo de 12°C podem provocar abortamento de flores, concorrendo para um decréscimo no rendimento do feijoeiro. Além disso, áreas que apresentem umidade relativa e temperatura do ar acima de 70% e 35°C, respectivamente, são mais propícias à ocorrência de várias doenças.

Em regiões aptas ao cultivo, o período de semeadura deve ser determinado de maneira tal que a floração ocorra, preferencialmente, quando a temperatura do ar achar-se em torno de 21°C. Na fase



de intenso crescimento vegetativo, o calor excessivo aumenta a fotorrespiração, reduzindo a taxa de crescimento, principalmente, se ocorrer, também, estresse hídrico. No período compreendido entre a diferenciação dos botões florais e o enchimento dos grãos, as temperaturas elevadas causam redução nos componentes de rendimento, notadamente no número de vagens por planta, devido à esterilização do grão de pólen e a consequente queda de flores. A taxa de abscisão de flores e vagens pequenas é uma das maiores limitações ao rendimento do feijoeiro, podendo atingir índices elevados, quando as temperaturas diurnas e noturnas forem superiores a 30°C e 25°C, respectivamente. A ocorrência de temperaturas do ar inferiores a 12°C, na fase vegetativa, retarda o crescimento das plantas, porém, quando ocorrem na diferenciação das estruturas reprodutivas, provocam, em alguns casos, a redução no número de grãos por vagem (Silveira & Stone, 2001).

Para que o feijoeiro possa atingir seu rendimento potencial é necessário que a temperatura do ar apresente valores mínimo, ótimo e máximo de 12°C, 21°C e 29°C, respectivamente. Por outro lado, em regiões de ocorrência de altas temperaturas noturnas, os prejuízos ao rendimento do feijoeiro são maiores.

Áreas da Região Centro-Oeste, norte de São Paulo, sul de Minas Gerais e algumas localidades do Nordeste Brasileiro apresentam, em determinadas épocas, as melhores condições climáticas para a produção de sementes de feijão de alta qualidade, com umidade relativa do ar entre 50 a 60% e temperatura em torno de 26 °C. As condições do sul do Brasil, com temperaturas baixas e alta umidade relativa do ar exigem, dos produtores de sementes, a adoção de um eficiente esquema de manejo e de tratamento fitossanitário, para a obtenção de um produto sadio.

### 2.3 Radiação solar

A radiação solar global atinge a superfície terrestre como radiação direta e difusa. A quantidade e a intensidade da radiação direta dependem, basicamente, da latitude, altitude e declinação solar, enquanto a radiação difusa dependerá, em cada localidade, das propriedades óticas da atmosfera e da nebulosidade.

A utilização da radiação solar pelas plantas depende da capacidade de interceptação e de utilização da luz, ou seja, da capacidade fotossintética. Assim, os estudos agrometeorológicos sobre radiação solar, em uma comunidade vegetal, devem considerar não apenas o processo fotossintético, mas também a estrutura do dossel.

A taxa fotossintética de uma cultura depende da distribuição da radiação solar, nas diferentes camadas de folhas, e do total absorvido em cada camada. O total de radiação solar interceptado e, eventualmente, absorvido por uma camada de folhas, está diretamente relacionado com o ângulo foliar, com a declinação solar, com a distribuição espectral da radiação e com a estrutura das folhas no dossel.

A cultura do feijoeiro, quando exposta a baixa quantidade de radiação solar, apresenta decréscimo no índice de área foliar, concorrendo para uma menor área de interceptação de energia, interferindo em todo seu metabolismo fisiológico. Por outro lado, em condições de alta radiação solar, os índices foliares serão maiores, o que não significa, automaticamente, num aumento no rendimento da cultura, pois a maior produção de grãos está diretamente relacionada à eficiência fotossintética da cultivar.

A radiação solar influencia, consideravelmente, as taxas de fotossíntese das plantas. O valor de saturação da radiação solar varia com a idade e o tipo da planta. De forma geral, pode-se afirmar que, regiões com radiação solar em torno de 150-250W/m<sup>2</sup>, podem ser consideradas ideais para o desenvolvimento do feijoeiro. O feijão, por ser uma planta C3, satura-se, fotossinteticamente, a intensidades de luz relativamente baixas. Sale (1975), que trabalhou com a planta inteira, encontrou o ponto de saturação entre 600-650 W/m<sup>2</sup>.

É sabido que a luz é imprescindível ao processo fotossintético de assimilação do dióxido de carbono que, juntamente com a água e os nutrientes, formam as substâncias de reserva das plantas. Porém, nas condições tropicais, a intensidade luminosa não constitui fator limitante, exceto quando ocorrem períodos de intensa nebulosidade, que reduzem a taxa fotossintética.

## 2.4 Fotoperíodo

A duração do dia, definida como o intervalo entre o nascer e o pôr do sol, é conhecida como fotoperíodo e, a resposta da planta a este fator, denominada fotoperiodismo. O feijão é uma planta considerada de dia curto. Atualmente, devido ao longo período de seleção e adaptação (programas de melhoramento vegetal), as cultivares de feijão modernas são insensíveis ao comprimento do dia para o desenvolvimento e crescimento, podendo ser adaptadas a regiões de altas latitudes.

## 2.5 Vento

O vento influi na taxa de abscisão de flores no feijão. Velocidades do vento entre 2 a 12 m/s diminuem a proporção de flores vingadas, nos estádios de desenvolvimento R1, R2 e R3. A 12,5 m/s, a interrupção do desenvolvimento da flor alcança o máximo observado, com uma redução de 35% do número de vagens em relação ao controle. Com o desenvolvimento, as flores se tornam menos sensíveis ao vento, declinando a taxa de abscisão. Uma vez que a vagem tem início, ela não é mais vulnerável ao vento, desde que haja umidade para o seu desenvolvimento. Baixos níveis de umidade também favorecem ao aumento da taxa de abscisão. Reduções no rendimento, em função do vento, dependem do estádio de desenvolvimento da cultura e da intensidade do evento (Bennel et al., 2007). Resultados obtidos por Hodges et al. (2004) ilustram que áreas cultivadas com feijão, em locais protegidos de vento direto, produziram mais que em locais abertos, principalmente quando tal proteção ocorreu no início e no final do período (meses) propício ao plantio.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

Há diversos relatos na mídia sobre os impactos negativos de chuvas intensas e de granizo, considerados eventos extremos, em áreas cultivadas com feijão. De acordo com definição utilizada pelo PROAGRO (Cunha, 1999), uma chuva é definida como intensa se a precipitação for igual ou maior que 100 mm h<sup>-1</sup>. Para ambos os eventos extremos, a fase reprodutiva, principalmente após o florescimento e o enchimento de grãos, é a mais sensível.

Chuvas intensas geralmente estão associadas com ventanias, podendo ocasionar acamamento, queda de flores e vagens e conseqüente redução no rendimento esperado.

Os maiores danos ocasionados pelo granizo são resultantes do impacto, da força e do peso sobre as plantas. Na fase vegetativa, os danos maiores são ocasionados pelo acamamento da planta. Na fase reprodutiva, tanto na emissão de flores quanto no enchimento das vagens, os danos causados são o acamamento da planta e, principalmente, a queda de flores e vagens.

### 3.2 Seca e veranico

O rendimento do feijoeiro é afetado pela condição hídrica do solo, sendo que a deficiência hídrica pode reduzir a produtividade em diferentes proporções, de acordo com as diferentes fases do ciclo da cultura.

De acordo com Doorenbos & Pruitt (1976), os períodos de floração e de aparecimento das vagens são mais críticos, em relação ao déficit hídrico, que o período de crescimento vegetativo, sendo este, por sua vez, mais crítico que o período de maturação das vagens. De fato, Garrido et al. (1979) relatam que, no final da floração do feijoeiro, o déficit hídrico reduziu a produção em 42% e, tendo ocorrido na fase de formação e crescimento das vagens, a redução foi de 58%. Corroborando estes resultados, Calvache et al. (1997) verificaram que o estresse hídrico, durante a floração e a formação de vagens, reduziu em 30% a produtividade do feijoeiro, enquanto, no enchimento de vagens, a redução foi de 36%. Dubetz & Mahlle (1969) verificaram reduções de 53%, 71% e 35% , quando o feijoeiro foi submetido

a estresse hídrico nas fases de pré-floração, floração e pós-floração, respectivamente. Na floração, a redução da produtividade tem relação com o número de dias em que o feijoeiro fica exposto à redução do teor de água no solo, conforme demonstraram Magalhães & Millar (1978). De acordo com estes autores, houve decréscimo de 20% nos rendimentos quando a cultura foi submetida a 14 dias sem irrigação, durante a floração. Depois de 17 e 20 dias sem irrigação, as reduções nos rendimento foram, respectivamente, de 30 e 52%.

Deve-se considerar também que, independente da magnitude do estresse hídrico, cultivares de feijoeiro respondem diferentemente ao déficit de água no solo, durante o período de floração. Assim, Silveira et al. (1981b), estudando a resistência de cultivares de feijoeiro à seca, verificaram que a produção de grãos diminuiu na medida em que o número de dias de estresse aumentou, entretanto, as cultivares do grupo “mulatinho” apresentaram maior estabilidade de produção que as do grupo “preto”. Mesmo dentro de linhagens, as respostas fisiomorfológica e produtiva do feijoeiro podem ser diferentes diante do déficit hídrico, como constataram Jara et al. (1988) ao analisarem o rendimento do feijoeiro, frente aos componentes índice de área foliar, relação área/massa foliar e evapotranspiração, em feijões pretos submetidos a quatro regimes hídricos, variando de sete a duas irrigações durante o ciclo. Os tratamentos de irrigação afetaram, significativamente, os rendimentos e seus componentes. O genótipo A-211, comparado ao BAC-40, apresentou uma produtividade maior, devido ao maior número de vagens por planta, ao maior número de grãos por vagem, ao maior índice de área foliar e à menor relação área/massa foliar. O hábito de crescimento também condicionou respostas diferenciadas ao estresse hídrico. Weaver et al. (1984) verificaram que, em plantas com hábito de crescimento determinado, o aumento de tensão da água do solo, de 50 para 100 kPa, reduziu o número de vagens, de sementes e a massa de sementes em torno de 20%. Em plantas de crescimento indeterminado, os mesmos atributos tiveram redução entre 30 e 40%.

A redução no rendimento do feijoeiro sob estresse hídrico é devida à baixa porcentagem de vingamento das flores, quando o estresse ocorre na fase da sua abertura, e ao abortamento de óvulos, produzindo vagens chochas, se o estresse ocorrer na fase de sua formação (Parjol, 1976). Calvache et al. (1997) verificaram que o estresse hídrico, durante o período de floração e formação das vagens, produz abortamento de flores e vagens jovens, ajudando a formação das primeiras, pois ocorre uma competição fonte-dreno, sendo, então, eliminadas as flores anormais, com falha na fertilização, ou vagens mais novas que abortam por falta de nitrogênio ou carboidratos. Estresse hídrico, no estágio de enchimento das vagens, produz um abortamento de vagens jovens e produção de vagens chochas nas pontas, tendo em vista que o enchimento ocorre da base para as pontas. Deficiência de água, durante os estádios final de enchimento de grãos e de maturação, causa redução no número de grãos por vagem, devido ao aborto dos últimos grãos pela planta, que transloca carboidrato para os grãos mais velhos, em detrimento dos mais novos. Este processo reduz o ciclo da cultura. Estresse hídrico, durante a maturação, reduz a massa das sementes, evidenciando a necessidade de água para formação e transporte de todas as substâncias solúveis, fotossintatos e carboidratos das fontes (folhas e raízes) aos drenos (grãos), onde ocorre a transformação em matéria seca. De fato, segundo Robins et al. (1967), déficit hídrico severo e prolongado, durante a fase de maturação das plantas, diminui o rendimento pela redução na massa das sementes. Por sua vez, período de estresse, antes da floração, retarda o desenvolvimento da planta. A menos que o estresse seja prolongado, a produção de sementes não sofre redução expressiva, se as condições favoráveis de umidade forem mantidas após o estresse (Calvache et al., 1997). Devido a este comportamento da planta de feijoeiro, tem-se encontrado uma relação direta entre a disponibilidade de água no solo e alguns componentes da produção. Segundo Calvache et al. (1997), longos períodos de déficit hídrico, durante a floração, reduzem tanto o número de vagens quanto o número de sementes por vagem. Estas perdas, entretanto, são parcialmente compensadas pelo aumento da massa de sementes. Entretanto, Couto (1979) verificou que o estresse hídrico reduziu a massa das sementes, seguido do número de vagens por planta, sendo estes os fatores mais afetados entre os componentes de produção, ao contrário do número de grãos por vagem, que foi o menos afetado. Para Calvache et al. (1997), o número de vagens por planta foi o componente da produção mais afetado pelo estresse hídrico. Em condições de falta de água na planta,

aumenta a síntese de ácido abscísico e etileno no pedúnculo da flor, provocando sua queda ao menor movimento e impedindo a formação de vagens e grãos.

Miranda & Belmar (1977) observaram decréscimos na massa das sementes e no número de vagens por planta devido à deficiência hídrica na fase de desenvolvimento vegetativo, que também é prejudicial ao feijoeiro. De fato, Parjol (1976) relata que nesta fase o estresse hídrico reduz o tamanho das plantas, mas é menos prejudicial nas fases de floração e de formação das vagens. Plantas de feijão, submetidas a estresse hídrico intenso na fase vegetativa, recuperaram-se com irrigação adequada do início da floração em diante, embora não tenham produzido tanto quanto aquelas irrigadas, adequadamente, durante todo o ciclo (Maurer et al., 1969).

Stone et al. (1988b) e Guerra et al. (2000) obtiveram maiores produtividades do feijoeiro, reiniciando as irrigações quando a tensão da água do solo atingia valores de 25-30 kPa, a 15 cm de profundidade e, de 41 kPa, a 10 cm de profundidade, respectivamente. Irrigando a maiores valores de tensão, ocorreram reduções nos números de vagens por planta e de grãos por vagem. Loureiro et al. (1990) observaram que, decréscimo na lâmina de irrigação, reduziu a produtividade do feijoeiro pela redução no número de vagens por planta, mas não afetou o número de grãos por vagem, nem a massa das sementes.

O déficit hídrico tem efeito sobre a fenologia do feijoeiro. Lopes et al. (1986) observaram redução do ciclo do feijoeiro, sob condições de deficiência de água. Bergamaschi et al. (1988b) concluíram que, quando o déficit hídrico ocorre no final do enchimento de grãos e na maturação fisiológica, não afeta a duração do ciclo fenológico do feijoeiro. Entretanto, o estresse por deficiência de água antecipa a maturação, quando ocorre após a emissão dos primeiros legumes, e prolonga o ciclo do feijoeiro, quando se dá durante a formação dos botões florais e a floração.

Costa et al. (1988) e Costa et al. (1991) verificaram, no feijoeiro sob estresse hídrico, que a resistência estomática e a taxa respiratória aumentaram e que, a taxa fotossintética líquida, a altura das plantas, o número de folíolos, e a área foliar diminuíram. A adição de nitrogênio promoveu maior adaptação das plantas ao estresse hídrico, minimizando o seu efeito. Stone & Moreira (2001) também verificaram que o nitrogênio compensou, em parte, o efeito do estresse hídrico sobre a produtividade do feijoeiro.

O decréscimo no acúmulo de matéria seca, em condições de estresse hídrico, está associado à redução da área foliar, ou seja, da superfície fotossintética (Resende et al., 1981). De fato, Brandes et al. (1973) observaram que os valores máximos da taxa de produção de matéria seca, de feijoeiros plantados nas “águas”, foram mais de três vezes superiores aos dos da “seca”. Segundo os autores, a diferença foi devida quase que, exclusivamente, ao índice de área foliar. Normalmente, as diferenças encontradas para o índice de área foliar são devidas às diferenças na área foliar por planta. O estresse hídrico, ao reduzir a turgescência, reduz a expansão celular, o que, por sua vez, reduz o alongamento do caule e da folha. Observações semelhantes foram feitas por Stone et al. (1988a) ao estudarem os efeitos de diversos níveis de estresse hídrico sobre o crescimento do feijoeiro. Verificou-se que houve um decréscimo pronunciado no crescimento com o aumento da tensão da água do solo, mesmo com um valor relativamente baixo de tensão, como 25 kPa. À medida que a irrigação foi feita, com tensões mais elevadas de água no solo, diminuíram o índice e a duração da área foliar, o rendimento, a taxa de produção de matéria seca, a taxa de crescimento relativo e a taxa assimilatória líquida. A redução na produção de matéria seca deveu-se à redução ocorrida na área foliar e na taxa assimilatória líquida.

### 3.3 Vendaval (vento intenso)

De acordo com o PROAGRO (Cunha, 1999), vendaval é definido como ventos com velocidade acima de 75 quilômetros por hora (número 09, na escala Beaufort). As fases mais críticas da cultura do feijão são a reprodutiva, principalmente após a emissão das flores, e o enchimento de vagens. O principal dano causado pelo vendaval é o acamamento. Entretanto, em situações extremas, pode causar quedas nas flores e vagens, como também, interromper o seu desenvolvimento.

### 3.4 Geada

Baixas temperaturas podem reduzir os rendimentos do feijão devido ao abortamento dos grãos, ocasionado pelas falhas dos órgãos reprodutivos masculinos e femininos. A Tabela 11 ilustra os danos causados pelas baixas temperaturas nos parâmetros reprodutivos do feijoeiro.

**Tabela 11. Efeito da baixa temperatura sobre os parâmetros reprodutivos do feijoeiro.**

Temperatura °C	Vagens/Planta (número médio)	Sementes/vagem (número médio)	Sementes abortadas (número médio)
10	0	-	-
11,4	2,2	2,5	60,92
12,8	6,1	3,2	45,48
13,9	5,3	4,8	19,58
18,0	6,3	5,1	15,49
21,0	6,6	5,3	10,92

Fonte: Portes (1996)

### 3.5 Chuvas excessivas

O feijoeiro é uma planta relativamente sensível ao excesso de água, sendo que o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo são bastante prejudicados nessas condições. O efeito na planta depende, entre outros, do tipo de solo, do estágio de desenvolvimento, da cultivar, da temperatura do ar e da duração da inundação. A respiração é um dos aspectos mais sensíveis da atividade da planta, e a redução da atividade respiratória tem efeito limitante no desenvolvimento da cultura. O aumento da resistência ao movimento de água através das raízes, a diminuição da absorção de nutrientes, o aumento da concentração de substâncias tóxicas na planta, a diminuição do crescimento e do potencial de água na folha são outros aspectos negativos que ocorrem quando há excesso de água. Além disso, há o favorecimento à incidência de doenças radiculares. Em condições de encharcamento, o aparecimento de raízes adventícias é muito comum e facilmente observado (Stone et al., 2005). Pocięcha et al. (2008) observaram que, em condições de encharcamento, há uma redução na elongação do colmo, área foliar e também na produção de matéria seca, sendo que, nas plantas com 4 semanas, esta redução foi mais acentuada que nas plantas com 8 semanas. O encharcamento do solo foi responsável por um decréscimo de clorofila, principalmente na fase vegetativa. Após um encharcamento de 7 dias, observou-se uma acentuada redução na fotossíntese, devido a um decréscimo na condutância dos estômatos.

Em condições de drenagem imperfeita, comuns em solos de várzeas, mesmo pequenos períodos de deficiência de oxigênio afetam a cultura. Uma significativa redução da produção foi observada por Silva (1982), com a inundação do solo por dois dias, em comparação com plantas em condições ideais de umidade. Na floração, a produtividade teve redução de 48%, 57% e 68% quando ocorreu excesso de água no solo por dois, quatro e seis dias, respectivamente. Foi verificado também que a fase de início da frutificação é a mais sensível à má aeração do solo. Em uma condição de excesso de água no solo, no estágio de florescimento-frutificação do feijoeiro, Menezes & Pinto (1967) obtiveram uma produtividade de 56 kg ha<sup>-1</sup> enquanto que, mantendo-se a umidade em torno da “capacidade de campo”, durante todo o ciclo da cultura, a produtividade foi de 1042 kg ha<sup>-1</sup>, isto é, 18,6 vezes maior. Forsythe &

Legarda (1978) observaram uma forte redução no rendimento, próxima de 90%, quando submeteram uma linhagem de feijão (27-R) a cinco inundações semanais, por período de 12 horas. Igual redução foi observada por Gomes Muñoz (1973), com 6 ou 12 inundações, de 9 horas de duração.

Existe variabilidade genética entre as cultivares de feijoeiro com relação à tolerância ao encharcamento, ainda pouco conhecidas. Estudos mostraram que esta tolerância não está relacionada com a cor do grão (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1977). Entretanto, Diniz et al. (1993) observaram, em Lavras, MG, que, entre as dez cultivares testadas, as do grupo carioca mostraram-se menos sensíveis quando submetidos a um nível de água igual a 80% do volume total de poros ocupados com água, o que correspondeu à tensão de água no solo de 7 kPa.

### 3.6 Chuvas na colheita

Uma das mais importantes decisões do produtor de feijão, na safra das águas, principalmente, é a definição do período de semeadura. Ele deve se preocupar não apenas com o crescimento e desenvolvimento da cultura, mas também, é de suma importância uma colheita em épocas em que as condições ambientais sejam favoráveis. Caso a colheita coincida com época de muita chuva, os prejuízos são inevitáveis. Alguns relatos de prejuízos são citados pela mídia, destacando-se os seguintes: a) atraso na colheita, dificultando a implantação da 2ª safra (safrinha), em algumas regiões de cerrado do Brasil; b) redução na produtividade, devido ao acamamento de plantas, em sistemas altamente produtivos; c) germinação dos grãos, ainda nas vagens, devido à alta umidade e ao atraso na colheita, ocasionando a quebra do rendimento e da qualidade dos grãos.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.692-697, 1993.
- BENNEL, M.R.; CLEUGH, H.A.; LEYS, J.F.; HEIN, D. The effect of hot dry wind on the pod set of faba bean (*Vicia faba*) cv. Fiord: A preliminary wind tunnel study. **Australian Journal of Experimental Agriculture** 47 (12), pp. 1468-1475. 2007.
- BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. II. Balanço de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p.745-757, 1988a.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; LIBARDI, P.L.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relações com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque "Classe A". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.4, p.387-392, 1989.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n. 7, p. 733-743, 1988b.
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C.; GOMES, F. R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) II - Análise de crescimento. **Experientiae**, Viçosa, v.15, n.1, p.1-21, 1973.
- CAIXETA, T.J.; MARINATO, R.; FRANÇA-DANTAS, M.S. Efeito da aplicação de quatro lâminas totais de água e três níveis de fertilizantes no rendimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). In: EPAMIG (Belo Horizonte, MG). **Projeto feijão**: relatório 73/75. Belo Horizonte, 1978. p.27-29.
- CAIXETA, T.J.; PURCINO, J.R.C.; SILVA, L. **Irrigação de algumas culturas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.9, n.100, p.65-76, 1983.
- CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.3, p.232-240, 1997.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Selección por tolerancia al exceso de agua en suelo**. Informativo CIAT, Cali, 1977. p.41-43.
- COSTA, R.C.L. da; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. de. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.12, p.1371-1379, 1988.
- COSTA, R.C.L.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três níveis de nitrogênio e dois regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.9, p.1453-1465, 1991.
- COUTO L. Effects of water stress on growth, reproductive development, dry matter partitioning and yield components of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the field. **Dissertation Abstract International - Section B**, Ann Arbor, v.394, p.5695, 1979.
- CUNHA, G.R. da. Seguro rural e garantia da atividade agropecuária no Brasil. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 4p. (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 12). Disponível: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co12.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co12.htm). Acesso em 12/10/2008.
- CURI, S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Necessidades hídricas da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) na baixada Cuiabana. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p.59-65, 2001.
- DEMATTÊ, J.B.I.; DEMATTÊ, J.D.I.; MIYASAKA, S.; ALMEIDA, L.D.; BULISANI, E.A.; IGUE, T.; ALVES, S. **Irrigação, adubação mineral x matéria orgânica em cultura de feijão**. Campinas: IAC, 1974. 27p. (IAC. Boletim Técnico, 15).

DINIZ, A.J.; FERREIRA, M.M.; VALE, F.R. do; RAMALHO, M.A.P. Avaliação de níveis de água no solo visando à seleção de cultivares de feijoeiro para o cultivo em solos de várzea. **Ciência & Prática**, Lavras, v.17, p.113-119, 1993.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976. 194p. (Estudio FAO. Riego & Drainage, 24).

DUBETZ, S.; MAHLE, P.S. Effect of soil water stress on bush beans *Phaseolus vulgaris* L. at three stages of growth. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.94, p.479-481, 1969.

ENCARNAÇÃO, C.R.F. **Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Goiano Precoce**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1980. 62p. Tese Mestrado.

FORSYTHE, W.M.; LEGARDA, B.L. Soil water and aeration and red bean production: I - Mean maximum soil moisture suction. **Turrialba**, San Jose, v.28, n.1, p.81-86, enero/mar. 1978.

GARRIDO, M.A.T.; PURCINO, J.R.C.; LIMA, C. A. S. Efeito do déficit de água em alguns períodos do ciclo de crescimento sobre o rendimento do feijoeiro comum. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto feijão**: relatório 77/78. Belo Horizonte, 1979.

GARRIDO, M.A.T.; TEIXEIRA, H.A. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum, na região Sul de Minas Gerais. In: EPAMIG (Belo Horizonte, MG). **Projeto feijão**: relatório 75/76. Belo Horizonte, 1978a. p.36-42.

GARRIDO, M.A.T.; TEIXEIRA, H.A. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum, na região Sul de Minas Gerais. In: EPAMIG (Belo Horizonte, MG). **Projeto feijão**: relatório 76/77. Belo Horizonte, 1978b. p.24-27.

GUERRA, A.F.; SILVA, D.B. da; RODRIGUES, G.C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1229-1236, 2000.

GUIMARÃES, C.M. **Características morfo-fisiológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas com a resistência à seca**. Campinas: UNICAMP, 1992. 131p. Tese de Doutorado.

GUIMARÃES, C.M.; STEINMETZ, S.; PORTES E CASTRO, T. de A. Uso de microlisímetros na determinação da evapotranspiração do feijoeiro da seca. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., Goiânia, GO, 1982. **Anais**. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1982. p.133-137. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 1).

HODGES, L.; SURATMAN, M.N.; BRANDLE, J.M.; HUBBARD, K.G. Growth and Yield of snap beans as affected by wind protection and microclimate changes due to shelterbelts and planting dates. **HortScience** 39 (5), pp. 996-1004. 2004.

JARA, J.; IZQUIERDO, J.F.; MATTA, R. Respuesta fisiomorfológica y productiva del frejol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) frente al déficit hídrico. **Agrociencia**, Santiago, v.4, n.1, p.21-26, 1988.

LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.J.; GOMES, M.S.S.; SOUZA, V.F. de. Crescimento e conservação de energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, Viçosa, n.33, p.142-164, 1986.

LOUREIRO, B.T.; MACHADO, P.B.; DENÍCULI, W.; FERREIRA, P.A. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro-comum. **Revista Ceres**, Viçosa, v.37, n.211, p.215-226, 1990.

MACK, H.J.; VARSEVELD, G.H. Response of bush snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to irrigation and plant density. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.107, n.2, p.286-290, 1982.

MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.13, p.55-60, 1978.

MAURER, A.P.; ORMROD, D.P.; SCOTT, N.J. Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.49, n.3, p.271-278, 1969.

MEDEIROS, G.A.de; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N.R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1733-1742, 2000.

MENEZES, D.M.; PINTO, M.M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na baixada fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.2, p.383-389, 1967.

MIRANDA, O.; BELMAR, C. Déficit hídrico y frecuencia de riego en frejol (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Agricultura Técnica**, Santiago v.494, p.271-278, 1977.

MUNÓZ, M.E.G. **Efecto de combinaciones de épocas, frecuencias & duraciones de inundacion sobre el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Turrialba: IICA, 1973. 120p. Tese Mestrado.

OLIVEIRA, D. de; VILLA NOVA, N.A. Evapotranspiração máxima e lâminas de irrigação necessárias para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L) no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.29-36, 1996.

OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.3, p.317-322, 1990.

OLIVEIRA, F.A. de; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.3, p.317-322, 1990.

PARJOL, L. Investigation of drought resistance in beans at different growth stages. **Field Crop Abstracts**, Wallingford, v.29, n.11, p.776, 1976.(Abstract 8774).

PEREIRA, A.L.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Manejo da irrigação do feijoeiro em plantio direto: cobertura do solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador, BA. **Resumos Expandidos**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. P.450-451.

POCIECHA, E.; KOŚCIELNIAK, J.; FILEK, W. Effects of root flooding and stage of development on the growth and photosynthesis of field bean (*Vicia faba* L. minor). **Acta Physiologiae Plantarum** v. 30, 4, Julho 2008, p. 529-535

PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. R.S. Araujo, C.A. Rava, L.F. Stone, M.J.O. Zimmermann (Eds). Potafos, 1996, p.101-137.

PURCINO, J.R.C.; CAIXETA, T.J.; GARRIDO, M.A.T. Efeito da aplicação de quatro lâminas totais de água e três níveis de fertilizantes no rendimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) - II. In: EPAMIG (Belo Horizonte, MG). **Projeto feijão**: relatório 73/75. Belo Horizonte, 1978. p.30-34.

RESENDE, M.; HENDERSON, D. W.; FERERES, E. Freqüência de irrigação, desenvolvimento e produção de feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, p.363-370, 1981.

ROBINS, J.S.; MUSIK, J.T.; FINFROCK, D. C.; RHODES, H. F. Grain in field crops. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R.; EDMINTER, T.W. (Ed.). **Irrigation of agricultural lands**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p.622-639.

SALE, P.J.M. Productivity of vegetable crops in a region of high solar input.IV. Field chamber measurement on French beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and cabbages (*Brassica oleracea* L.). **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.2, p. 461-70, 1975.

SANTOS, R.Z. dos; ANDRÉ, R.G.B. Consumo da água nos diferentes estádios de crescimento da cultura do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.4, p.543-548, 1992.

SILVA, E.L. **Suscetibilidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cv. Goiano Precoce à inundação temporária do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo.** Piracicaba: ESALQ, 1982. 72p. Tese Mestrado.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Requerimento de água. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro.** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 230 p.

SILVEIRA, P.M. da; FONSECA, J.R.; GUIMARÃES, C.M. **Consumo de água pelo feijão de 3ª época irrigado por aspersão.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1981a. 5p. (EMBRAPA-CNPAP. Comunicado Técnico, 9).

SILVEIRA, P.M.; GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; KLUTHCOUSKI, J. Avaliação de cultivares de feijão para resistência à seca baseada em dias de estresse de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.5, p.693-699, 1981b.

STEINMETZ, S. **Evapotranspiração máxima no cultivo do feijão de inverno.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1984. 4p. (EMBRAPA-CNPAP. Pesquisa em Andamento, 47).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da; MOREIRA, J. A. A.; BRAZ, A. J. B. P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.577-582, 2006.

STONE, L.F.; CASTRO, T.A.P.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. II- Crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, p.503-510, 1988a.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-841, abr. 2000.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p.473-481, 2001.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, S.C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. I. Produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.2, p.161-167, 1988b.

STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.6, p.939-954, 1994.

STONE, L.F.; SILVA, S.C. da. **Uso do tanque Classe A no controle da irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto.** Pesquisa em Foco. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, n.25, 2p., 1999.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 49p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 55).

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da; MOREIRA, J.A.A. Efeito da água na produtividade do feijoeiro comum. In: DEL PELOSO, M.J.; MELO, L.C. (Eds). **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p.109-131.

VIEIRA, H.J.; LIBARDI, P.L.; BERGAMASCHI, H.; ANGELOCCI, L.R. Comportamento de duas variedades de feijoeiro sob dois regimes de disponibilidade hídrica no solo. I. Extração de água do solo e evapotranspiração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.2, p.165-176, 1989.

VILHORDO, B.W.; MULLER, L.; EWALD, L. F.; LEÃO, M. L. Hábito de crescimento em feijão *Phaseolus vulgaris* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.16, n.1, p.79-98, 1980.

WEAVER, M.L.; Ng, H.; BURKE, D. W.; SILBERNAGEL, M. J.; FOSTER, K.; TIMM, H. Effect of soil moisture tension on pod retention and seed yield of beans. **HortScience**, Alexandria, v.19, p.567-569, 1984.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUSIWARA, M. & AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.3, p.621-633, 2000.

YOKOYAMA, L. P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos socioeconômicos da cultura. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil.** Piracicaba: Potafos, 1996. p. 301-352.

ZIMMERMANN, M. J. de O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. In: **Cultura do feijoeiro comum no Brasil.** R.S. Araujo, C.A. Rava, L.F. Stone, M.J.O. Zimmermann (Eds). Potafos, 1996, p.57-68







# GIRASSOL

*Foto: George Popa*



## 1. INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L) é a quarta maior fonte de óleo vegetal comestível do mundo, após a soja, a palma e a canola (FERNÁNDEZ-MARTINEZ et al., 2008). É cultivado em todos os continentes, em uma área de cerca de 24 milhões de hectares (FAO, 2007). Apesar de ainda pouco expressiva, a cultura de girassol, no Brasil, vem sendo praticada nos Estados do Centro-Oeste, Sul, Sudeste e Nordeste.

O México é considerado o centro de origem e domesticação do girassol (LENTZ et al., 2001), a partir do qual se espalhou pelos Estados Unidos, Espanha e Leste Europeu, tendo chagado à Rússia por volta de 1830, onde passou a ser explorado, comercialmente, como planta produtora de óleo (PUTT, 1997; CÂMARA, 1998; UNGARO, 2000). A partir do sucesso do girassol como cultura oleaginosa no leste europeu, tal cultura foi sendo difundida no mundo inteiro.

No Brasil, a cultura foi trazida pelas primeiras levas de colonos europeus, no final do século XIX. Inúmeras foram as tentativas de fomentar e expandir seu cultivo, em diferentes regiões do País, a partir do início do século XX. Em 1998, por iniciativa de indústrias e cooperativas ligadas ao setor de óleos vegetais e, neste século, a partir de 2003, com o Programa Nacional do Biodiesel, o girassol voltou a constar na pauta de oleaginosas destinadas à alimentação humana e à energia veicular.

A demanda mundial por óleo de girassol vem crescendo, em média, 1,8% ao ano, enquanto a demanda interna cresce num ritmo de 13%, obrigando o Brasil a se posicionar como importador, principalmente da Argentina. Essa realidade tem exigido ações de pesquisa e de desenvolvimento voltadas ao fortalecimento e ao planejamento organizado da expansão do cultivo do girassol.

Atualmente, o girassol é, reconhecidamente, utilizado como planta medicinal, melífera, produtora de silagem e de forragem, como adubação verde, melhoradora do solo e ornamental. Mas, a maior utilização do girassol está no aproveitamento dos grãos (aquênios-sementes), os quais constituem a matéria-prima para a obtenção de uma série de subprodutos de elevada importância econômica, que podem ser utilizados diretamente no consumo humano, torrados ou crus, ou na alimentação de aves e pássaros. Os grãos são bastante ricos em óleo, entre 30 e 56%, dependendo da cultivar, do ambiente edafoclimático e das tecnologias adotados no seu cultivo. O óleo apresenta alta qualidade nutricional para o consumo humano e caracteriza-se, dentre tantas e importantes propriedades, por resistir a baixas temperaturas sem se congelar e nem se enturvar, e por ser semi-secativo, apresentando um índice de iodo que pode variar entre 110 e 143 (DUNN, 2006), dependendo das condições ambientais, durante a fase de enchimento de grãos.

A torta, subproduto da extração do óleo, pode ser utilizada na alimentação animal, como substituto do farelo de soja, e na alimentação humana, na forma de farinha e “leite” de girassol. Devido ao seu elevado teor de nitrogênio e fósforo, constitui-se em excelente fonte desses nutrientes na adubação do solo.

Por sua importância na alimentação humana e animal, e como biocombustível, o girassol vem merecendo atenção especial no que respeita aos mecanismos de fomento, objetivando a expansão de seu cultivo no território Nacional, de forma racional e controlada. Para isso, busca-se ajustar as exigências bioclimáticas e edáficas da espécie às disponibilidades das distintas regiões do Brasil,

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Instituto Agronômico de Campinas, Av. Barão de Itapura, 1481, Campinas, SP. E-mail: ungaro@iac.sp.gov.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Soja. E-mail: ccastro@cnpso.embrapa.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Soja. E-mail: jrenato@cnpso.embrapa.br

4- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, FEPAGRO. E-mail: nidio-barni@fepagro.rs.gov.br

5- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Meio Ambiente. E-mail: npramos@cnpma.embrapa.br

6- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, ESALQ/USP. E-mail: pcsentel@esalq.usp.br

através do zoneamento agroclimático de risco.

### 1.1 Fenologia e desenvolvimento

O crescimento e desenvolvimento do girassol, da semente à maturação (ciclo biológico ou biociclo), é um processo fundamentado numa seqüência de alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas que se sucedem na planta, convenientemente consideradas como fases fenológicas, separadas por estádios fenológicos (CONNOR & HALL, 1997). A duração de cada fase é regulada pela ação do comando genético, extrínseco da cultivar, interagindo com as condições de ambiente (edafoclimáticas naturais, somadas ao nível tecnológico adotado) no qual o cultivo é realizado.

Embora existam várias escalas para descrever o desenvolvimento do girassol, adota-se, neste capítulo, a escala proposta por SCHNEITER & MILLER (1981), em que o desenvolvimento da planta é dividido em dois subperíodos: vegetativo (V) e reprodutivo (R).

As fases de desenvolvimento do girassol são as seguintes:

Emergência	Nº de folhas maiores que 4 cm			Desenvolvimento da inflorescência		Floração		Enchimento de aquênios		Maturação fisiológica
	VE	V1	V2	VN...	R1...	...R4	R5	R6	R7	
Fases vegetativas				Fases reprodutivas						

Figura 1. Descrição esquemática das fases de desenvolvimento do girassol, segundo SCHNEITER & MILLER (1981). (Fonte: CASTRO & FARIAS, 2005)

Para uma discussão mais objetiva sobre as influências dos fatores ambientais no desenvolvimento da cultura, cada fase será abordada individualmente.

#### Semeadura (S) - Emergência (E)

A fase de semeadura-emergência, na verdade, engloba dois eventos distintos: 1) germinação, que compreende o início da embebição até a profusão da raiz primária e, 2) emergência, quando a radícula aparece e o gancho hipocotiledonar desponta acima da superfície do solo (BEWLEY & BLACK, 1985) apud CONNOR & HALL (1997).

No caso do girassol, a capacidade germinativa dos embriões é obtida cerca de 6 dias após a polinização, aumentando sensivelmente até os 30 dias, quando atinge valores próximos de 100% (MAEDA et al., 1987), podendo entrar em dormência nos próximos 16 dias. Baixas porcentagens de germinação, em consequência da dormência, podem ser obtidas sob temperaturas abaixo do ótimo (CORBINEAU et al., 1990).

Há diferenças no nível de dormência decorrentes do genótipo e da época de semeadura e, conseqüentemente, da colheita. Nesse sentido, UNGARO et al. (1992) encontraram uma grande variação no nível e na velocidade de superação dessa dormência entre genótipos de girassol, semeados, mensalmente, e colhidos na maturação fisiológica. Na média, colheitas entre dezembro e abril mostraram maiores valores de dormência, para os três genótipos avaliados. Nas demais épocas, o nível de dormência foi menor, com maior variação entre genótipos. Por analogia com outras espécies, o grau de dormência deve estar relacionado às condições prevalentes durante a formação da semente (FENNER, 1991).

A germinação é influenciada diretamente pela disponibilidade de água, temperatura e oxigênio, sendo a luz um fator de superação de dormência e, não exatamente, indispensável para a germinação (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). A temperatura é o principal fator que afeta a germinação do girassol em solos com água e aeração adequadas (CONNOR & HALL, 1997). Assim, estimativas da

temperatura mínima para germinação de girassol situam-se entre 3 e 6°C, com ótimo ao redor de 26°C, e máxima em 40°C (MAEDA & UNGARO, 1985; GAY et al., 1991). Estes valores podem ser afetados pela composição do óleo nas sementes (DOWNES, 1985), onde, quanto maior o teor de ácido linoléico, maior a germinação em sementes sob baixas temperaturas. Quanto à água, há necessidade de volumes suficientes para a embebição dos tecidos internos, para a retomada da respiração e para outras atividades metabólicas, que culminam com o fornecimento de energia e nutrientes para o crescimento do eixo embrionário. Segundo BURCH & DELOUCHE (1959), quanto maior o teor de proteína, maior volume de água é necessário e mais rápida ocorre a absorção.

Com relação à emergência das plântulas, pode-se afirmar que o sucesso deste processo está relacionado, além do ambiente onde a semente será depositada, ao seu vigor, o qual é determinado por aspectos genéticos, físicos, fisiológicos e de sanidade (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Assim, as condições pelas quais as sementes passaram, anteriormente à sementeira, influenciam significativamente seu desempenho no campo. Isto indica, claramente, a necessidade de se utilizar sementes de qualidade, para que se possa atingir um potencial produtivo satisfatório, levando ao sucesso, a atividade agrícola.

Assim como ocorre na germinação, a temperatura é um fator determinante para a emergência do girassol. VILLALOBOS et al. (1994) encontraram relação entre a emergência e a soma térmica de 12°C/dia acima de 4°C, que seria a temperatura base, por centímetro de profundidade de solo. Vários autores referem, como temperatura base para o crescimento e desenvolvimento do girassol, valores entre 4°C a 8,5°C (ROBINSON et al., 1967; SADRAS & HALL, 1988; MERRIEN, 1992; VILLALOBOS & RITCHIE, 1992; BARNI et al., 1993<sup>a</sup>; SENTELHAS et al., 1994). A temperatura base de uma cultura é definida como a temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve ou, quando o faz, é em proporções muito reduzidas. O conceito de graus-dia baseia-se no fato de que a planta necessita de determinada quantidade de energia, representada pelo somatório de temperaturas acima de um valor base, para completar determinada fase fenológica ou mesmo o biociclo (MASSIGNAM, 1987; BARNI et al., 1993<sup>b</sup>).

Quanto à disponibilidade de água para a emergência, SOMERS et al. (1983) encontraram variabilidades, entre genótipos de girassol, quanto à tolerância ao baixo potencial de água, sendo que, durante o período de emergência da plântula, há um consumo médio de 0,5 a 0,7mm/dia (CASTRO & FARIAS, 2005). O não atendimento da demanda leva à redução, atrasos e desuniformidade na emergência, que resultam em populações de plantas variáveis e mal distribuídas na área de cultivo. Assim, a qualidade da semente, a uniformidade de distribuição, durante a sementeira, e as condições do leito de sementeira têm efeito marcante sobre estabelecimento da lavoura. CARDINALI et al. (1985) encontraram o mesmo nível de produtividade de grãos de girassol, em diferentes populações de plantas, desde que sob estandes com distribuição uniforme. Isto se deve, muito provavelmente, à plasticidade da planta de girassol, que tem a capacidade de compensar um maior espaço, aproveitando para aumentar o sistema radicular e o desenvolvimento das folhas (SADRAS et al., 1989). No entanto, sob estande desuniforme, MERRIEN & MILAN (1997) encontraram reduções de até 43% na produção de grãos.

### **Emergência (E) – Início da floração (FI) (FI = R4, na Escala de Schneiter & Miller, 1981)**

A duração do subperíodo E a FI, para muitos, se não para a maioria dos genótipos, é dependente da temperatura e do fotoperíodo (VILLALOBOS et al., 1994).

A temperatura é considerada o fator do ambiente de maior influência no desenvolvimento fenológico do girassol (ROBINSON, 1978; MASSIGNAM, 1987; BARNI et al., 1995a), sendo a espécie apontada como de dias curtos ou insensível ao fotoperíodo (ROBINSON et al., 1967). Mas, existem cultivares que se comportam como planta de dias curtos e outras como planta de dias longos. Temperaturas baixas aumentam o ciclo da cultura, atrasando a floração e a maturação (BARNI, 1994; BARNI et al., 1995a). Quando tais temperaturas ocorrem após o início da floração, podem afetar significativamente o rendimento.

Diferentes genótipos mostram respostas quantitativas características de plantas de dias longos, neutros e curtos, para a duração do subperíodo E-FI (GOYNE & SCHNEITER, 1988).

Sem dúvida, o fotoperíodo e a temperatura são os principais fatores que afetam a duração do subperíodo E-FI, mas a redução na radiação solar, como ocorre no inverno, em relação ao verão, acaba por atrasar o início da floração, facilmente observável em experimentos de épocas de plantio (SENTELHAS et al., 1993). A exposição à baixa disponibilidade de N (STEER & HOCKING, 1987) também pode atrasar a FI.

### **Iniciação Floral (FI) – Início da Antese (R5)**

A duração do subperíodo FI-R5 é afetada pela temperatura (RAWSON et al., 1984), fotoperíodo (RAWSON et al., 1984), e cultivar (VILLALOBOS et al., 1994). Exposição a dias curtos torna o processo mais lento (SENTELHAS et al., 1994) em algumas cultivares, mas não em todas (MARC & PALMER, 1981) e alguns desses efeitos podem ser devidos à redução do subperíodo de florescimento (MARC & PALMER, 1981). Esta resposta a dias curtos, exibida por algumas cultivares, contrasta com a resposta a dias longos encontrada durante o subperíodo E-FI (RAWSON & HINDMARSH, 1982). A resposta oposta, nas fases E-FI e FI-R5, pode classificar uma cultivar como neutra ao fotoperíodo, ou mesmo de dias curtos, quando se mede somente o subperíodo E-R5 (RAWSON & HINDMARSH, 1982).

O girassol apresenta um rápido desenvolvimento da área foliar, atingindo o estágio R1, da escala proposta por SCHNEITER & MILLER (1981), com 50% da área foliar expandida (VRANCEANU, 1977), e área foliar máxima, na antese (SAUGIER, 1976; ENGLISH et al., 1979; RAWSON & HINDMARSH, 1983; BARNI et al., 1995a). A área foliar na antese apresenta alta relação com a produção final de aquênios (VRANCEANU, 1977; RAWSON et al., 1980; BARNI et al., 1995b,c), sendo importante considerar-se, também, a atividade fotossintética, por unidade de área, e a duração da área foliar (MITCHEL, 1970; GOOD & BELL, 1980). O tamanho final da folha é influenciado por sua posição na planta, bem como pela temperatura, N, água e estresse de radiação (CONNOR & HALL, 1997), sendo também sensível à zona de aeração das raízes (KRIEDEMANN et al., 1983 apud CONNOR & HALL (1997)) e à salinidade (RAWSON & MUNNS, 1984). Os efeitos da densidade de plantas sobre a área foliar, por planta, é importante e provavelmente inclui efeitos tanto na expansão quanto na senescência.

### **Início da Antese (R5) – Final da Antese (R6)**

O florescimento, propriamente dito, começa pela periferia do capítulo em direção ao centro do mesmo, com abertura de 3 a 4 círculos de flores por dia, dependendo da temperatura. Com uma média de temperatura de 20°C, o processo leva 10 dias (RAWSON, 1984) e é pouco afetado pela densidade de plantas ou pela cultivar (VILLALOBOS et al., 1994), apesar de poder ser diferente em capítulos muito pequenos. É uma fase que depende de água, cuja demanda aumenta com a temperatura, o vento e a baixa umidade do ar. Cultivos com baixa disponibilidade hídrica, nesta fase, restringem a expansão das células e, por conseguinte, a expulsão das anteras, a deiscência do pólen e a extensão do estigma, bem como diminuem sua receptividade. Esses acontecimentos contribuem para a infertilidade, a qual é extrema sob severa falta de água (CONNOR & HALL, 1997).

Por outro lado, pode existir o efeito direto de altas temperaturas em cultivos irrigados. O fenômeno tem sido observado quando a temperatura do ar se aproxima dos 40°C, e a magnitude do dano depende da duração do período de alta temperatura. Um único dia de alta temperatura pode danificar entre dois e quatro círculos florais, mas, com a queda da temperatura, o florescimento continua normalmente. Esses efeitos causam pequenas diminuições na produção de grãos, entre 5 e 10%, mas, com a continuação dos mesmos, até as flores imaturas podem ser afetadas (CONNOR & HALL, 1997). Os efeitos da alta temperatura podem agravar-se sob condições de falta de água.

CHIMENTI & HALL (2001) mostraram que baixas temperaturas, durante a iniciação floral, aumentam o número de flores diferenciadas, apesar de também diminuir a viabilidade posterior destas flores.

Por sua vez, condições proporcionadas pelo excesso de chuvas e dias nublados, na fase de floração do girassol, podem resultar em considerável quebra de produção (UNGARO, 1986).

### Final da Antese (R6) – Maturação Fisiológica (R9)

Tanto o genótipo quanto a temperatura afetam a duração deste subperíodo. Este subperíodo também é afetado pela radiação (RAWSON et al., 1984) e pode (HALL et al., 1985) ou não (WHITFIELD et al., 1989) ser encurtado pelo estresse hídrico. A massa de matéria seca formada a partir da antese é praticamente toda utilizada no enchimento de grãos de girassol (SAUGIER, 1976; ENGLISH et al., 1979). Assim, neste subperíodo, deve haver a absorção máxima da radiação para a maximização do rendimento de aquênios (SHIBLES & WEBER, 1966).

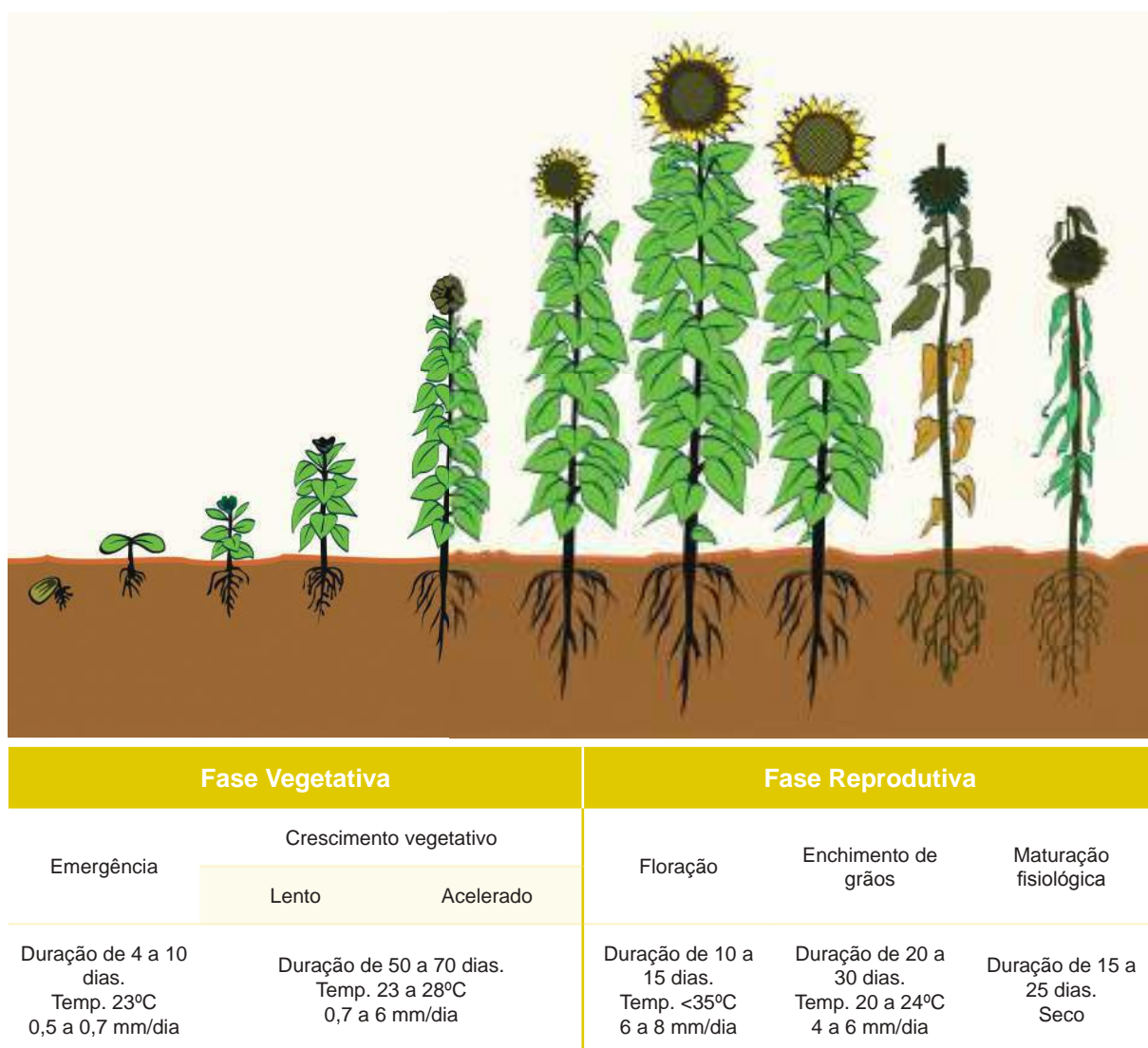


Figura 1. Representação esquemática da duração das principais fases de desenvolvimento do girassol, com as respectivas exigências térmicas e hídricas. (FONTE: CASTRO & FARIAS, 2005)

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

O conhecimento sobre o controle da parte aérea e do sistema radicular do girassol, em termos de tamanho, funcionalidade e duração, é um pré-requisito importante para entender como a cultura captura ou dissipa a água, os nutrientes e a radiação solar (HALL, 2004). DARDANELLI et al. (1997) comparam a funcionalidade do sistema radicular em relação à profundidade de enraizamento de girassol, soja, milho, amendoim e lucerne, confirmando a capacidade do girassol em estender seu sistema radicular, não só mais profundamente, como mais rapidamente que as demais culturas, extraindo água também



mais rapidamente, em uma dada camada de solo. Medidas da transpiração das raízes no campo, feitas por HALL et al. (1990), sugerem uma diminuição gradual da massa e da funcionalidade das raízes, após o florescimento da planta.

GOMES et al. (2008) encontraram que, sob condições de severo estresse hídrico, ocorreu um aumento acentuado no número de raízes na profundidade 30cm a 80cm; além disso, também houve um aprofundamento dessas raízes.

O aparecimento das folhas, sua expansão e senescência são processos realizados para a criação e para a extinção do dossel da cultura. A associação da capacidade fotossintética das folhas, com sua variação no dossel e entre campos de cultura, além de sua resposta ao estresse hídrico, determina a capacidade da cultura em interceptar a radiação solar e fixar o CO<sub>2</sub> (HALL, 2004). Durante, talvez, dois terços do ciclo da cultura, o índice de área foliar (LAI) é fortemente afetado pela senescência das folhas, um processo que começa em dosséis que se encontram próximos à total interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, antes da floração, e que se torna o fator predominante após a floração (HALL, 2004).

Os elementos climáticos que afetam o crescimento e desenvolvimento do girassol (ciclo da cultura ou biociclo) são: temperatura do ar, radiação solar, precipitação pluviométrica e fotoperíodo (GOYNE & HAMMER, 1982; UNGER, 1990; MASSIGNAM & ANGELOCCI, 1993; SENTELHAS et al., 1994; BARNI et al., 1995a). Na ausência de estresse hídrico, a temperatura e a radiação tornam-se os elementos de restrição à produtividade (MONTEITH, 1990; CHAPMAN et al., 1993).

## 2.1 Disponibilidade hídrica

A adaptação do girassol a diferentes ambientes é favorecida pelo sistema radicular do tipo pivotante que, sem impedimento físico ou químico, explora camadas mais profundas do solo em busca de água e nutrientes. Isto permite à planta tolerar melhor os períodos de deficiência hídrica e realizar a reciclagem de nutrientes.

Segundo DOORENBOS & PRUIT (1975), os fatores mais importantes que determinam o requerimento de água pela cultura são: clima, cultura (características de crescimento), umidade do solo, práticas agrícolas e de irrigação, e outros fatores que influenciam a taxa de crescimento (como os fertilizantes), doenças e infestações de pragas, e plantas invasoras.

O girassol é inapto para regular seu consumo de água, extraindo quantidades consideráveis do solo. Quando bem implantado, pode absorver água de uma profundidade de 2 metros ou mais. A resistência à difusão de água pelos estômatos é baixa; os estômatos são grandes, numerosos e densos, principalmente na face inferior do limbo. O girassol apresenta uma tendência de esbanjar água quando lhe é oferecida em abundância (MERRIEN, 1992; DIAS, 1995).

O girassol consome quantidades significativas de água durante o seu ciclo, com exigências hídricas distintas em função da fase de desenvolvimento da planta. Segundo DOORENBOS & KASSAM (1979), a quantidade total de água requerida pelo girassol varia entre 600 a 1000mm, dependendo, fundamentalmente, do clima e da cultivar, os quais determinarão a duração da estação de crescimento e a demanda evaporativa da atmosfera. Por sua vez, DIAS (1995), estudando o consumo de água pelo girassol, na região de Lavras, Estado de Minas Gerais, registrou um consumo de 508,8 mm, com média diária de 5,35mm. A evapotranspiração aumenta, nesta cultura, do estabelecimento à floração, podendo atingir, durante este subperíodo, valores máximos acima de 10mm diários (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

Para RAWSON e CONSTABLE (1980), o girassol é uma espécie muito vigorosa, com habilidade de obter água, alcançar taxas de fotossíntese muito altas e manter suas atividades sob moderados estresses hídricos. Quando cultivado sob diferentes regimes hídricos, o girassol apresenta uma constância no pico de fotossíntese, por unidade de área foliar.

Dependendo do conteúdo de umidade do solo, as plantas terão maior ou menor facilidade em extrair a água e, portanto, em atender às suas necessidades. À medida que o solo seca, torna-se cada vez mais difícil às plantas absorverem água. Isso porque vai aumentando a força de retenção enquanto

diminui a disponibilidade hídrica no solo. Por isso, nem toda a água que o solo consegue armazenar é disponível às plantas (BERGAMASCHI, 1992).

A profundidade efetiva do sistema radicular foi definida como sendo a correspondente a 80% da quantidade de raízes acumuladas ao longo do perfil do solo, segundo BERNARDO (1982) e ARRUDA (1989). Para fins de monitoramento da irrigação, a profundidade efetiva do sistema radicular do girassol é de 20cm, segundo GOMES (2005). O mesmo autor refere que a planta desenvolvida sob marcante estresse hídrico tende a produzir raízes em maior número e se aprofundar mais no solo que aquela sem restrição hídrica. Acrescenta ainda que há maior concentração de raízes no horizonte superficial do solo, até 20cm, independentemente da disponibilidade de água. Em solos arenosos, a profundidade das raízes é maior do que em solos argilosos.

O acúmulo de matéria seca nos aquênios requer a produção de assimilados nas folhas, a translocação dos assimilados para o fruto, o movimento dos assimilados através do floema do pericarpo para as células dos cotilédones e a síntese de várias substâncias de reserva. A quantidade de matéria seca acumulada dependerá da taxa de acúmulo e da duração do período de acúmulo (MECKEL et al., 1984).

A necessidade de água para o girassol aumenta com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0,5 mm/dia a 0,7 mm/dia, durante a fase da sementeira à emergência, para um máximo de 6 mm/dia a 8 mm/dia, na floração e no enchimento de grãos, decrescendo, após esta fase, até a maturação fisiológica (Fig. 2). Em sementeiras de novembro e dezembro, quando ocorrem taxas de crescimento elevadas e curto espaço de tempo para recuperações e compensações dos componentes do rendimento, os efeitos restritivos de déficits hídricos são mais fortemente evidenciados pela cultura (BARNI, 1994).

Embora o consumo de água seja baixo no início do ciclo, uma adequada disponibilidade de água, durante a fase de germinação e emergência, é fundamental para o estabelecimento uniforme da lavoura, com a população de plantas desejada.

DOORENBOS & KASSAN (1979) apresentaram uma distribuição percentual mais definida do consumo de água, para condições de clima temperado, nas diferentes fases, a qual foi referendada pela FAO (2004), isto é, 20% durante o subperíodo vegetativo, 55% da diferenciação do primórdio floral ao final da antese e, os 25% restantes, durante a fase de enchimento de grãos. O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é de 0,3 a 0,4 durante as fases iniciais de germinação, emergência das plantas e estabelecimento da cultura (20 a 25 dias), de 0,7 a 0,8 durante as fases vegetativas (35 a 40 dias), de 1,05 a 1,2 durante a floração (40 a 50 dias), de 0,7 a 0,8 durante a fase de enchimento de grãos (25 a 30 dias) e, de 0,4, na maturação fisiológica (DOORENBOS & KASSAN, 1979; FAO, 2004). No entanto, GOMES (2005) encontrou valores bem mais elevados de  $K_c$  em todas as fases, em um experimento repetido durante três anos, no Estado de São Paulo, o que chama a atenção para a necessidade de maiores estudos em regiões tropicais. Segundo BARNI (1994), o girassol apresenta elevada associação entre o rendimento de grãos e o índice hídrico  $E_{Tr}/E_{To}$ , no subperíodo reprodutivo (R1 a R6), o mais sensível (período crítico), seguindo-se o vegetativo, e, em terceiro lugar, a fase de final de enchimento de grãos e maturação (R8 e R9). O mesmo autor acrescenta que as cultivares precoces são mais sensíveis ao estresse hídrico, enquanto os tardios apresentam tendência de maior estabilidade, não oscilando tanto entre ambientes favoráveis e limitados.

Sob condições de adequado suprimento de água, a fotossíntese, após a antese, é o maior contribuinte para o rendimento de grãos. Por sua vez, a contribuição dos assimilados da pré-antese, para o rendimento de grãos, é usualmente menor do que 20% (WARDLAN e PORTER, 1967; RAWSON e EVANS, 1971). Entretanto, sob condições de estresse, os assimilados movem-se para o fruto, a partir das folhas mais baixas, colmos e raízes (WARDLAW, 1967), e os assimilados da pré-antese contribuem, numa proporção maior do total dos assimilados, para os grãos. A proporção do peso do grão, que pode ser atribuída à fotossíntese da pré-antese, armazenada e mais tarde transferida para o grão, dependerá, claramente, da duração e da severidade do estresse e da redução da fotossíntese, após a antese. Tem sido relatado ser elevado, da ordem de 50% a 67%, em culturas severamente estressadas (GALLAGHER et al., 1976; PASSIOURA, 1976).

Para quantificar as relações entre produção das culturas e déficit hídrico, tem sido proposto o fator  $K_y$ , definido pela relação entre déficit de produção relativa ( $1 - Y_r/Y_m$ ), em que  $Y_r$  e  $Y_m$  são a produção real e a máxima obtida, respectivamente, e déficit de evapotranspiração relativa ( $1 - E_{Tr}/E_{Tm}$ ), em que  $E_{Tr}$  e  $E_{Tm}$  são, respectivamente, a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima, como indicador da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (DOORENBOS & KASSAN, 1979). O fator de resposta  $K_y$  é variável em função das diferentes fases de desenvolvimento da cultura (estabelecimento, vegetativo, floração, formação de frutos, maturação e colheita). Esse fator  $K_y$  é útil no planejamento e operação de áreas irrigadas, pois permite quantificar a água de irrigação e sua utilização, em termos de rendimento e produção total da cultura para toda a área irrigada. A quantificação do efeito do déficit hídrico sobre os dados de produção e o número de frutos foi feita mediante a relação entre a queda de rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração relativa, dada pelo coeficiente de resposta  $K_y$ , sendo:  $(1 - Y_r/Y_m) = K_y (1 - E_{Tr}/E_{Tm})$ , em que,  $Y_r$  - rendimento real obtido;  $Y_m$  - rendimento potencial obtido;  $K_y$  - coeficiente de resposta da cultura;  $E_{Tr}$  - evapotranspiração real, e  $E_{Tm}$  - evapotranspiração máxima. O rendimento potencial ( $Y_m$ ) e a evapotranspiração máxima ( $E_{Tm}$ ) são obtidos do tratamento correspondente à reposição de 100% da água consumida.

## 2.2 Temperatura

A germinação é inibida com temperaturas de solo de 3 - 4 °C. A velocidade de germinação e emergência das plantas aumenta, exponencialmente, com a temperatura subindo de 3 para 30°C. Mas, temperaturas acima de 35°C (37 a 40°C) prejudicam, sensivelmente, a germinação (MACCHIA et al., 1985; GAY et al., 1991) e as sementes não germinam com 45°C (CORBINEAU et al., 2002). Abaixo de 4 - 5°C, considera-se que o girassol não apresenta atividade fisiológica. O girassol desenvolve-se bem em temperaturas variando entre 20°C e 25°C, embora estudos, em condições controladas, indicam que, 27°C a 28°C parecem ser as temperaturas ótimas (WARREN-WILSON, 1966), o que está de acordo com ROBINSON (1978) e UNGER (1990).

Temperaturas baixas também aumentam o ciclo da cultura, atrasando a floração e a maturação (BARNI, 1994; BARNI et al., 1995a). Quando ocorrem após o início da floração, podem afetar significativamente o rendimento. Por outro lado, altas temperaturas, durante a formação do botão floral até o final do florescimento, associadas ao estresse hídrico, afetam a polinização e a fecundação, resultando em sementes chochas (ANDREI, 2004), cuja intensidade de dano varia entre genótipos.

Vários trabalhos tem determinado o efeito da temperatura sobre o ciclo do girassol, em termos de graus-dia necessários para que a cultura complete seu ciclo. BARNI et al. (1993a), estudando nove cultivares (híbridos e populações), em 80 ambientes, no Estado do Rio Grande do Sul, determinaram uma temperatura base de 4°C, para todo o ciclo do girassol. A soma térmica efetiva (graus-dia) para o período emergência-maturação exigiu, na média das nove cultivares, 1620°Cdia, com dispersão entre 1380°Cdia, para os genótipos mais precoces, e 2010°Cdia, para os mais tardios (BARNI et al., 1993b). Por sua vez, SENTELHAS et al. (1994) e Sentelhas e Ungaro (1998) determinaram que a soma térmica, da emergência à colheita, foi da ordem de 1743°Cdia para a cultivar IAC-Anhandy, 1713°Cdia para o híbrido Contisol 621 e, 1848°Cdia, para a linhagem VNIIMK, considerando-se uma temperatura base de 4,2°C.

## 2.3 Radiação solar

A radiação solar é a fonte de energia para os processos bioquímicos e fisiológicos das plantas. A energia radiante é convertida em energia química nas folhas e armazenada pelas plantas, para usos posteriores. A agricultura é a exploração da energia solar, viabilizada através de um adequado suprimento de água e nutrientes minerais, para manter o crescimento da planta (MONTEITH, 1958). A absorção da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR), pelos dosséis das culturas, é estreitamente associada ao índice de área foliar (IAF). BARNI (1994) observou, em girassol, uma eficiência energética (eficiência de uso da radiação) variando de 2,27g a 2,44g de fitomassa seca aérea por Mj (Megajoule)

de PAR absorvida acumulada. O valor ajustado alcançou 2,457g de fitomassa seca aérea por Mj de PAR absorvida (BARNI et al., 1995c).

O aproveitamento da luz visível, por uma cultura como o girassol, está na dependência do seu IAF e dos parâmetros físicos, biológicos e geométricos, os quais determinam a estrutura do dossel, que condiciona a absorção da radiação incidente, que é determinada pelos fatores posição solar, estrutura da planta, geometria e tamanho da folha, ângulo de distribuição e idade das folhas, arranjo de plantas no campo, altura da planta, época do ano, nebulosidade e outros (VARLET-GRANCHER e BONHOMME, 1979, citados por VARLET-GRANCHER et al. 1989; ROOS, 1981).

A assimilação de carbono pela cultura depende, principalmente, do estabelecimento da área foliar, mais do que da taxa de fotossíntese e, uma compreensão, de como a área foliar é controlada, torna-se o primeiro fator para o entendimento do crescimento da cultura (RAWSON et al., 1980). O girassol apresenta um rápido desenvolvimento da área foliar, atingindo o estágio R1, da escala proposta por SCHNEITER e MILLER (1981), com 50% da área foliar expandida (VRANCEANU, 1977) e, na antese, atinge área foliar máxima (RAWSON e HINDMARSH, 1983; BARNI, 1994; BARNI et al., 1995b). A área foliar máxima, na antese, apresenta alta relação com a produção final de aquênios (VRANCEANU, 1977; RAWSON et al., 1980; RAWSON e TURNER, 1982a; BARNI, 1994; BARNI et al., 1985b), sendo importante considerar-se, também, a atividade fotossintética por unidade de área e a duração da área foliar (MITCHEL, 1970; Jones apud SAUGIER, 1976; GOOD e BELL, 1980).

Sombreamento durante a iniciação floral muda o hábito de desenvolvimento das sementes, ou seja, o desenvolvimento das folhas cessa, reduzindo a área foliar, o número de aquênios é reduzido (GRIMM et al., 2004) e a produção de grãos pode ser seriamente afetada (UNGARO & NOGUEIRA, 1988).

O girassol classifica-se, do ponto de vista de seu metabolismo fotossintético, como uma espécie de ciclo C-3, à semelhança do trigo e outros cereais de inverno. Este tipo de espécies possui, em geral, taxas fotossintéticas comparativamente menores que as espécies que apresentam metabolismo fotossintético tipo C-4, como ocorre com milho e sorgo (JENSEN e BAHR, 1976; OGREN, 1976; MOOS, 1984).

Embora o girassol possua taxas fotossintéticas inferiores ao milho e ao sorgo, suas taxas são levemente superiores às de outras espécies de ciclo C-3, como o trigo e os cereais de inverno. Isto pode ser explicado pelas folhas do girassol, que apresentam características desejáveis em termos de fotossíntese, como o elevado ponto de saturação de luz (HESKETH & MOOS, 1963), e pelos movimentos fototrópicos (SHELL & LANG, 1976), que colocam as folhas, do terço superior da planta, em uma posição mais adequada para a captação da radiação solar.

## 2.4 Fotoperíodo

Com relação à reação da planta ao fotoperíodo, o girassol é classificado como espécie insensível. Entretanto, algumas variedades comportam-se como plantas de dia curto e outras como de dia longo. As variedades de dia longo fazem a diferenciação floral quando o dia tem mais de 12 horas de luz. Por isso se adaptam melhor aos cultivos de verão. As variedades de dia curto fazem a diferenciação floral quando a duração diária de horas luz é inferior a 12, florescendo mais rapidamente no inverno e no início da primavera. Existem, ainda, variedades indiferentes ou neutras, que podem ser cultivadas em quaisquer épocas do ano.

Ainda há muito que se estudar para que, nas condições brasileiras, se possa estabelecer descrições confiáveis sobre a resposta, à época da floração, dos diferentes genótipos, em condições diferenciadas de temperatura e fotoperíodo.

Trabalhos sobre fotoperíodos, artificialmente estendidos, em combinação com semeaduras de primavera e final de verão, em outros países, vêm demonstrando que a resposta dos genótipos é muito mais complexa do que parecia. O aumento do fotoperíodo pode afetar a duração do período entre a indução da iniciação floral e a formação do botão floral visível. Mas, também pode afetar a duração de fases posteriores, incluindo a duração do intervalo entre o início e o final da diferenciação floral. Alguns genótipos mostram respostas opostas, dependendo da época em que são semeados, sugerindo a possibilidade da interação temperatura - fotoperíodo (SENTELHAS et al, 1994; HALL, 2004).

A insensibilidade ao fotoperíodo pode ser verificada pela ampla dispersão, no território nacional, dos híbridos e variedades testadas na Rede de Ensaios de Avaliação de Genótipos de Girassol, analisando os resultados obtidos, desde o Rio Grande do Sul até Roraima (CARVALHO et al., 2004; SMIDERLE et al., 2004; BARNI et al., 1989; 1995a).

## 2.5 Vento

Os ventos apresentam aspectos favoráveis, quando moderados, e desfavoráveis, quando intensos. Os efeitos favoráveis são redistribuição de calor, dispersão de gases e poluentes, suprimento de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, transpiração moderada e dispersão de sementes e de pólen. Por sua vez, os efeitos desfavoráveis são eliminação de insetos polinizadores, aumento da transpiração, fechamento dos estômatos, redução da área foliar, deriva de pulverizações e dano mecânico às plantas (acamamento e quebra).

Os ventos excessivos e constantes (acima de 10 km/h) apresentam algumas conseqüências que reduzem o rendimento, tais como, redução do crescimento e atraso no desenvolvimento das plantas, internódios menores e em menor número, nanismo da parte aérea das plantas, menor número de folhas, folhas grossas e menores, menor número de estômatos por folha e menor tamanho dos mesmos.

Especificamente, no girassol, o efeito das velocidades do vento de 0,45 m/s, 4,0 m/s, 8,5 m/s e 15 m/s, durante 30 dias, segundo SCHOFFEL (2008), determinaram área foliar menor, em plantas expostas a maiores velocidades de vento, massa seca da parte aérea inversamente proporcional à velocidade do vento, massa seca das raízes proporcional à velocidade do vento, menor crescimento (menor área foliar) e redução da estatura da planta (menor comprimento dos internódios).

O vento é um dos fatores determinantes da demanda evaporativa da atmosfera, juntamente com a radiação solar, temperatura e umidade do ar. O efeito do vento na evaporação é exercido pela remoção e renovação do ar logo acima da superfície evaporante. Normalmente, o vento retira, da camada acima da superfície evaporante, o ar saturado ou próximo à saturação, ficando, sobre a mesma superfície, ar mais seco, o que determina a manutenção do processo evaporativo. A relação entre o vento e a evaporação é, entretanto, limitada. Acima de uma determinada velocidade do vento, a evaporação torna-se independente (BERLATO & MOLION, 1981). Para pequenas áreas, uma brisa leve (2m/s = 7,2km/h) já é suficientemente eficaz. Para grandes superfícies de água, pesquisas mostram que 32 a 40 km/h seria um valor limite da velocidade do vento, acima da qual não mais exerceria influência. Em geral, regiões com maior ocorrência de ventos determinarão maior necessidade de água para suprir a evapotranspiração da comunidade vegetal.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

O granizo pode causar injúrias nas folhas e, mesmo, no caule, favorecendo a introdução de patógenos; no período reprodutivo, pode resultar em perda total da produção.

Chuvas pesadas, durante o subperíodo de enchimento de grãos, podem prejudicar a produção de grãos (MAGRIN et al., 1998; CHAPMEN & De La VEJA, 2002, apud TRÁPANI et al., 2004). Se ocorrerem em solos pesados, argilosos, o estrago é maior porque o encharcamento, ao redor das raízes, tende a demorar mais para se normalizar, impedindo a aeração das mesmas. A duração da área foliar, na fase de enchimento de grãos, também pode ser reduzida, o que explica, ainda que em parte, a redução na produção de grãos (TRÁPANI et al., 2004). O problema se agrava em solos com “pé de grade”, que são áreas de adensamento de sub-superfície.

### 3.2 Seca e veranico

O estresse por deficiência de umidade é, sem dúvida, o principal determinante do rendimento do girassol, principalmente, em razão de seus efeitos sobre a área foliar (GOYNE et al., 1978). Entretanto,

o estresse hídrico e a temperatura estão intimamente ligados e, em experimentos de campo, é muito difícil separar os efeitos desses dois parâmetros sobre o crescimento (RAWSON e HINDMARSH, 1982).

A expansão foliar e a senescência são conhecidas como muito sensíveis ao déficit de água. Muitos estudos têm demonstrado os dramáticos efeitos que modestos estresses de água determinam sobre a expansão foliar (GALLAGHER e BISCOE, 1979; RAWSON et al., 1980; TURNER e BEGG, 1981; RAWSON e TURNER, 1982b, 1983). A maioria das evidências sugere que a expansão foliar é muito mais sensível ao déficit de água do que a fotossíntese, sob condições de campo (TURNER e BEGG, 1981; RAWSON e TURNER, 1983; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Em períodos de estresse hídrico, os diferentes órgãos da planta apresentam uma diminuição da turgescência. As raízes perdem a maior quantidade de água (74%), seguidas pelas folhas (18%) e pela haste (8%), segundo MERRIEN (1992). Além disso, a superfície foliar se ajusta, perfeitamente, à disponibilidade de água, ou seja, se o estresse hídrico é precoce, o desenvolvimento foliar é moderado, ocorrendo uma redução do vigor da planta e do número total de folhas e, se tardio, ocorre uma redução da superfície foliar, como decorrência da aceleração da senescência das folhas. Como o rendimento de grãos e a área foliar na antese são positivamente correlacionados (MURIEL e DOWNES, 1974; RAWSON et al., 1980; MERRIEN, 1992; BONA et al., 2000; GOMES, 2005), o estresse hídrico tardio resulta em baixos rendimentos.

Apesar de o girassol produzir pequena área foliar, sob condições de estresse de água, esta planta tem uma grande habilidade de regenerar a área foliar, tão logo o estresse seja eliminado. Mais importante é que, independente da fase de desenvolvimento em que a recuperação ocorre, o rendimento de sementes é estreitamente correlacionado com a máxima área foliar alcançada. A extensão do aumento na área foliar, após a recuperação do estresse, é principalmente dependente dos dias que ainda restam antes da antese (RAWSON e TURNER, 1982a).

Embora a senescência foliar não pareça ser tão sensível ao déficit de água na folha quanto o é a expansão foliar (LUDLOW, 1975), a taxa de senescência aumenta com o déficit de água, em muitas espécies, incluindo o girassol (MERRIEN, 1992).

CHIMENTI et al. (2004) mostraram que, em girassol, a adaptação osmótica pode trazer uma contribuição substancial à manutenção da produção, sob condições de seca prolongada, tanto nas fases pré quanto pós-antese. Esta pesquisa também estabelece a ligação entre capacidade de ajuste osmótico, extração de água do solo em profundidade e manutenção da duração da área foliar ativa, durante e após um período de seca. Plantas com maior capacidade de ajuste osmótico apresentaram maior extração de água do solo, as quais mantiveram o número de grãos por capítulo, bem como reduziram menos a duração da área foliar comparativamente às plantas com menor capacidade de ajuste osmótico. Como a água nas plantas de maior ajuste osmótico era extraída de camadas mais profundas no solo, isto sugere um desenvolvimento radicular mais agressivo em profundidade. O número de grãos por capítulo provou estar associado com a duração da área foliar durante a antese, enquanto o tamanho do grão e a produção de grãos estiveram associados com a duração da área foliar após a antese.

Culturas que passaram por estresse hídrico, antes do florescimento, regulam a transpiração, predominantemente, pela redução da expansão da folha, enquanto, após a floração, é difícil identificar um fator dominante.

As fases do crescimento e desenvolvimento, de máxima sensibilidade das plantas ao déficit hídrico, são, usualmente, chamadas “períodos críticos” da cultura em relação ao fator água, sendo três, segundo BIRCH (1982). O primeiro ocorre durante o estabelecimento da cultura, em condições desfavoráveis de umidade no solo, por ocasião da semeadura, podendo redundar em aumento excessivo na duração da fase semeadura-emergência, com redução da população inicial de plantas. O segundo período crítico, o mais importante para o rendimento de grãos, abrange desde a diferenciação do primórdio floral até o final da antese (DOORENBOS & KASSAM, 1979; MERRIEN, 1992; BARNI et al., 1996a,b; CASTRO, 1999; FLAGELLA et al., 2000; ASRI et al., 2000). Restrições hídricas, durante este período, afetarão de maneira decisiva os processos de fertilização e início de desenvolvimento dos grãos, tendo, como conseqüência, capítulos de diâmetro reduzido e com elevada percentagem de grãos estéreis, no

centro dos mesmos. O terceiro período crítico envolve a fase do enchimento de grãos e o concomitante acúmulo de óleo (ASRI, 2000; SINGH & SINGH, 2000). O maior efeito da restrição hídrica, neste período, incide sobre a quantidade e a qualidade do óleo produzido.

No entanto, GOMES et al. (2004) irrigaram abundantemente o girassol - somente nesses três períodos críticos - e obtiveram, mesmo assim, uma redução de 17% na produtividade de grãos, o que sugere, para condições tropicais, que nem tudo acontece como nas regiões de clima temperado.

### 3.3 Vento intenso

O dano causado por vendavais parece estar bastante relacionado à sensibilidade natural do genótipo e ao seu enraizamento adequado. Há vários anos, um ensaio de avaliação de cultivares foi atingido por um vendaval, no Município de Campinas, SP (UNGARO, informações pessoais), e, praticamente, todos os genótipos acamaram, em maior ou menor grau, com exceção do Morgan 742, que permaneceu absolutamente ereto no meio dos acamados. Em geral, em condições de fortes rajadas de vento, o girassol não só acama mas também tem seu caule quebrado e retorcido, com severas ou totais perdas da produção. No girassol, rajadas de vento superiores a 50km/h determinam acamamento e quebra de plantas. O efeito danoso é maior quanto mais próximo da maturação.

### 3.4 Geadas

Em relação ao efeito do frio, o girassol é mais resistente que o milho, ainda que isso dependa da fase de desenvolvimento da cultura. O girassol é considerado sensível à geada no momento da emergência das plantas e, posteriormente, durante a floração. No entanto, é muito resistente logo depois dos 20 primeiros dias da emergência. Apesar das temperaturas próximas de 0°C não matam as plantas, podem provocar diversos distúrbios fisiológicos. Um problema que pode ocorrer, nos plantios de safrinha, em regiões sujeitas a geada, é sua ocorrência durante a diferenciação floral, o que acarreta a queima da gema apical e a formação de plantas multicapituladas devido à perda da dominância apical, com enormes reflexos negativos na produção de grãos, em especial, quando se trata de híbridos, os quais apresentam maior uniformidade das fases de desenvolvimento e, por conseguinte, todas as plantas podem ser afetadas. A geada também pode ocorrer durante o florescimento, o que leva à infertilidade total das flores dos círculos que abrem no dia da baixa temperatura.

### 3.5 Chuva excessiva

As chuvas excessivas podem estar relacionadas a doenças, principalmente alternarioses. Para o desenvolvimento da ferrugem do girassol, há necessidade de pelo menos 6 horas de molhamento das folhas. Mas, a severidade só é bastante aumentada quando existir mais de 24 horas de molhamento foliar (GULYA et al., 1997). Chuvas excessivas, durante vários dias, acompanhadas por baixas temperaturas, favorecem o desenvolvimento de *Sclerotinia sclerotiorum*.

Estudos desenvolvidos por SENTELHAS et al. (1996) e DUDIENAS et al. (1998) mostraram que o nível de desenvolvimento da mancha de alternaria, em girassol, é claramente relacionado aos fatores climáticos, especialmente excesso de umidade.

### 3.6 Chuva na colheita

Chuvas em excesso, na época da colheita do girassol, retardam a perda de água do capítulo e dos aquênios, atrasando a colheita. Este atraso favorece a ocorrência de doenças de final de ciclo, além de agravar as perdas pelo ataque de pássaros. Por sua vez, as doenças de final de ciclo reduzem a qualidade do produto. A indicação é manipular a época de semeadura, para evitar a coincidência da colheita com períodos de chuvas abundantes.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 4.1 Teor e composição do óleo nas sementes

Vários fatores são conhecidos pelo seu efeito no conteúdo de óleo nas sementes, destacando-se a característica genética do genótipo e as características ambientais, como deficiência hídrica em determinadas fases do desenvolvimento da cultura (TALHA & OSMAN, 1975), altas e baixas temperaturas, entre 10°C e 26,5°C, sob condições constantes (CANVIN, 1965), doenças (ZIMMER & ZIMMERMAN, 1972) e altos níveis de nutrição com N (COIC et al., 1972).

De acordo com CANVIN (1965), a temperatura, durante a fase de maturação dos aquênios, é um fator importante de variação na composição bioquímica do óleo. Tal fato foi constatado por HARRIS et al. (1978), na cultura do girassol que, ao analisarem a influência da temperatura do ar no teor de óleo e composição de aquênios, sob condições controladas, verificaram que havia um decréscimo no teor total de óleo e no teor de ácido linoléico, sempre que as temperaturas, máxima e mínima, no período compreendido entre o florescimento e a maturação, se elevavam.

Por outro lado, CHOLAKY et al. (1985) observaram uma diminuição no conteúdo de óleo como consequência da queda da temperatura média diária após a antese, indicando assim, que tanto as altas quanto as baixas temperaturas têm influência sobre o teor de óleo dos aquênios de girassol, como já relatado por CANVIN (1965). Outros fatores, indiretamente relacionados à temperatura, como energia solar total e comprimento do dia, podem influenciar o conteúdo e a qualidade do óleo (UNGER & THOMPSON, 1982; SEILER, 1983). No entanto, como discutido por FILIPESCU & STOENESCU (1979), alguns genótipos mantêm um alto conteúdo de ácido linoléico sob diferentes condições de temperatura, podendo vir a ser interessantes para regiões quentes e áridas, onde as condições são menos favoráveis à acumulação do ácido linoléico.

Segundo SENTELHAS et al. (1997), houve respostas distintas, entre cultivares, à temperatura do ar, com relação ao teor de óleo nos aquênios, sendo que alguns foram influenciados pela temperatura mínima do ar no subperíodo “florescimento-maturação”, enquanto um outro mostrou melhor correlação com a temperatura máxima do ar.

Por seu lado, GOMES et al. (2004) encontraram que, sob estresse hídrico severo, houve aumento no teor de proteína e diminuição no teor de óleo nas plantas. O manejo da irrigação modula a relação oléico- linoléico. Um grande déficit hídrico, no período de enchimento de grãos, está associado a uma diminuição no teor de ácido oléico (ROCHE et al., 2008).

A relação entre a concentração de ácido oléico e linoléico é controlada pelas condições de ambiente, principalmente temperatura, e genótipos (CONNOR & HALL, 1997; ROCHE et al., 2004). Assim, existe uma forte relação entre a temperatura e o grau de insaturação dos ácidos graxos. O girassol, cultivado em ambientes de temperaturas menores, durante o período de síntese do óleo, reage, aumentando o teor de ácido graxo linoléico, ao tempo em que reduz o oléico (HARRIS, et al., 1978; SILVER et al., 1984; KABBAJ et al., 1996; CASTIGLIONI, et al., 1997; HANSAN & AHMAD, 2003). Mudanças no nível de ácido oléico, nas sementes, são moduladas pela temperatura média nas fases compreendidas entre a floração inicial (FI) e a maturação fisiológica (MF), segundo ROCHE et al. (2008). RONDANINI et al. (2003) encontraram que, um breve período com temperaturas acima de 35°C, nestas mesmas fases, induz um aumento irreversível no teor de ácido oléico.

### 4.2 Época de semeadura

A época de semeadura é de fundamental importância para o sucesso no cultivo do girassol. É bastante variável e depende, principalmente, das condições climáticas de cada região. Sendo assim, a época ideal de semeadura é aquela que permite satisfazer às exigências da planta, nas diferentes fases do crescimento e desenvolvimento, reduzindo riscos de doenças, especialmente após a floração, e assegurando uma boa colheita.

Com base nas experiências acumuladas até o momento, as épocas de semeadura mais indicadas



são: Goiás e Centro-oeste, em geral, janeiro a 20 de fevereiro; Paraná, agosto a meados de outubro; Rio Grande do Sul, 21 de julho a meados de outubro; São Paulo, fevereiro e março; novembro em áreas de reforma de cana; agosto a setembro no Sudeste do Estado e nas regiões com inverno chuvoso e frio.

### 4.3 Zoneamento agroclimático

Inúmeros estudos têm sido realizados com o objetivo de quantificar os efeitos do ambiente sobre o crescimento de culturas, desenvolvimento e rendimento. Para estes estudos e em modelagem dos efeitos sobre culturas, as três variáveis mais importantes do ambiente são a luz (radiação solar), a disponibilidade hídrica e a temperatura. As exigências bioclimáticas das espécies relacionadas com estas variáveis, somadas às características físicas que definem a capacidade de armazenamento de água no solo, delimitam as épocas e as zonas onde determinada espécie vegetal pode ser cultivada, obtendo-se o máximo rendimento físico, com os menores riscos.

Na definição dos riscos climáticos, para a cultura do girassol, além das três variáveis acima citadas, com influência direta sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, sobre a capacidade produtiva, é importante também caracterizar e considerar as limitações impostas pelas condições atmosféricas sobre a ocorrência das principais doenças que, em muitas regiões, constituem-se no principal fator restritivo à exploração econômica da espécie (FARIAS et al., 2007).

Nos estudos de zoneamento agroclimático, pode-se fazer uso de modernas ferramentas de modelagem e simulação de sistemas agrícolas, como geoprocessamento e geoestatística, sem, contudo, desconsiderar o conhecimento já gerado, fruto de uma imensa rede experimental, com importantes resultados obtidos em distintos locais, épocas e condições edafoclimáticas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSANO, E. J. et al. **Vantagens da utilização da rotação com girassol e outras leguminosas em áreas de reforma de canavia em Piracicaba, São Paulo.** Londrina: Embrapa, 2005. p. 92-94. (Documentos Embrapa Soja, n. 261).

ARRUDA, F. B. Necessidade de água nas culturas: elementos de projeto. In: CURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, 3., 1989, Campinas. [Apostilas...]. Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. 35 p.

ASRI, M. E. et al. Rendement et qualité des graines du tournesol cultivé sous contrainte hydrique. Resultats des essais en cooperation au Maroc et dans le sud-ouest de la France. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 15., 2000, Toulouse. **Proceedings...** Paris: International Sunflower Association, 2000. v. 1, p. C127-C132.

BARNI, N. A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica.** 1994. 249 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia-Agrometeorologia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

BARNI, N. et al. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: I. Absorção da radiação solar fotossinteticamente ativa. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 185-199, 1995b.

BARNI, N. et al. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 201-216, 1995c.

BARNI, N. A. et al. Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol: I. Relação entre rendimento e índice hídrico. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 7-17, 1996a.

BARNI, N. A. et al. Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol: II. Ajuste e validação do modelo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 19-31, 1996b.

BARNI, N. A. et al. Análise de crescimento do girassol em resposta a cultivares, níveis de adubação e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 167-184, 1995a.

BARNI, N. A. et al. Determinação da temperatura-base de desenvolvimento fisiológico do girassol no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8., 1993, Porto Alegre. **Resumos...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1993a. p. 184.

BARNI, N. A.; BERLATO, M. A.; SARTORI, G. Predição da fenologia do girassol em função da temperatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8., 1993, Porto Alegre. **Resumos...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1993b. p. 172.

BARNI, N. A. et al. Comportamento de cultivares de girassol em três regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 25, n. 1, p. 19-48, 1989.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação.** Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 1992. p. 25-32.

BERLATO, M. A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o estado do Rio Grande do Sul.** 1987. 83 f. Tese (Doutorado)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração.** Porto Alegre: IPAGRO; Secretaria da Agricultura, 1981. 95 p. (Boletim técnico, 7).

CONNOR, D. J.; HALL, J. A. Sunflower physiology. In: SCHNEITER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production.** Madison: American Society of Agronomy, 1997. p.113-182.

- BIRCH, E. B. Guide lines for top sunflower yields. In: FARMING in South Africa. Pretoria: Department of Agriculture, 1982. p.1-6.
- BONA, S. et al. Response of sunflower to progressive water stress. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 15., 2000, Toulouse. **Proceedings...** Paris: International Sunflower Association, 2000. v. 1, p. D58-D63.
- BURCH, T. A.; DELOUCHE, J. C. Absorption of water by seeds. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, Lincoln, v. 49, p. 142-150, 1959.
- CÂMARA, G. M. S. **Introdução à cultura do girassol**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1998. 10 p. Apostila.
- CANVIN, D. T. The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oil from several oil seed crops. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 43, p. 63-69, 1965.
- CARDINALI, F. J.; ORIOLI, G. A.; PEREYRA, V. R. Influencia del momento de emergencia en el desarrollo y produccion de un cultivar de girasol (*Helianthus annuus*, L.). In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GIRASOL, 11., 1985, Mar del Plata. **Actas...** Mar del Plata: ASAGIR/ISA, 1985. t. 1 p. 325-329.
- CARVALHO, C. G. P. et al. (Org.). **Informes da avaliação de genótipos de girassol, 2003/2004 e 2004**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 91 p. (Embrapa Soja. Documentos, 250).
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 650 p.
- CASTIGLIONI, V. B. R. et al. Composição de ácidos graxos em girassol e suas variações em diferentes zonas agroecológicas. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 12., 1997, Campinas. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1997. p. 32-33.
- CASTRO, C. **Boro e estresse hídrico na nutrição e produção do girassol em casa-de-vegetação**. 1999. 120 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.163-218.
- CASTRO, P. R. C. Movimento estomático. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 55, p. 57-61, 1980.
- CHIMENTI, C.; GIULIANO, J.; HALL, A. J. Osmotic adjustment, its effects on yield maintenance under drought in sunflower. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 16., 2004, Fargo. **Proceedings...** Fargo, 2004. v. 16, n. 1, p. 261-266.
- CHIMENTI, C. A.; HALL, A. J. Grain number responses to temperature during floret differentiation in sunflower. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 72, p. 177-185, 2001.
- CHOLAKY, L.; GIAYETTO, O.; NEUMANN, E. C. Epocas de siembra: efectos sobre el desarrollo, morfologia, componentes del rendimiento y produccion de girasoles de ciclos diferenciados. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GIRASOL, 11., 1985, Mar del Plata. **Actas...** Mar del Plata: ASAGIR/ISA, 1985. t. 1, p. 155-160.
- COIC, Y.; TENDILLE, F.; LESAIN, C. La nutrition azotée du tournesol (*Helianthus annuus* L): Action sur le rendement et la composition biochimique de la graine. **Agrochimica**, Paris, v. 16, n. 3, p. 254-263, 1972.
- CONNOR, D. J.; HALL, A. J. Sunflower physiology. In: SCHNEITER, A. A.; SEILER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p. 113-182. (Agronomy monograph, v. 35).
- CONNOR, D. J.; HALL, A. J.; SADRAS, V. O. Effect of nitrogen content on the photosynthetic characteristics of sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 20, p. 251-263, 1993.
- CORBINEAU, F.; BAGNIOL, S.; CÔME, D. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed dormancy and its regulation by ethylene. **Israel Journal of Botany**, Jerusalem, v. 39, p. 313-325, 1990.
- CORBINEAU, F. et al. Decrease in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed viability caused by high temperature as related to energy metabolism, membrane damage and lipid composition. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 116, p. 489-496, 2002.
- DARDANELLI, J. L. et al. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silt loam haplustoll. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 54, p. 29-38, 1997.
- DIAS, J. A. A. **Consumo de água do girassol cultivado em evapotranspirômetro de lençol freático constante**. 1995. 50 f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, 1995.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1975, 180 p. (Irrigation and drainage paper, 24).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage paper, 33).
- DOWNES, R. W. Factors affecting germination of sunflower under temperatures conditions. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 11., 1985, Mar del Plata. **Proceedings...** Mar del Plata: Asociación Argentina de Girasol, 1985. v. 11, n. 1, p. 87-92.
- DUDIENAS, C.; UNGARO, M. R. G.; MORAES, S. A. Alternaria disease development under tropical conditions. **Helia**, Novi Sad, v. 21, n. 29, p. 63-72, 1998.
- DUNN, R. O. Propriedades a baixas temperaturas e desempenho do biodiesel. In: KNOTHE, G. et al. **Manual de biodiesel**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. p. 91-132.
- ENGLISH, S. D. et al. Photosynthesis and partitioning of dry matter in sunflower. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 6, p.149-64, 1979.
- FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Database**, 2007. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 12 jan. 2008.
- FENNER, M. The effects of parent environment on seed germinability. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 1, p. 75-84, 1991.
- FERNÁNDEZ-MARTINEZ, J. M.; VELASCO, L.; PÉREZ-VICH, B. Progress in the genetic modification of sunflower oil quality. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 17., 2008, Cordoba. **Proceedings...** Cordoba: Consejería de Agricultura y Pesca, 2008. v. 17, n. 1, p. 1-14.
- FILIPESCU, H.; STOENESCU, F. M. Variability of linoléico acido content in sunflower oil depending on genotype and environment. **Sunflower Newsletter**, Amsterdam, v. 3, n. 4, p. 23-28, 1979.
- FLAGELLA, Z. et al. Effect of supplementary irrigation on seed yield and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown on a sub-arid environment. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 15., 2000, Toulouse. **Proceedings...** Paris: International Sunflower Association, 2000. v. 1, p. C139-C144.
- FLECK, N. G. Consorciação de culturas. In: GIRASSOL: Indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul: IPAGRO, 1988. p. 67-72.
- FLECK, N. G.; SILVA, P. R. F. Efeito da distribuição de plantas na fileira na cultura do girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 3, p. 281-285, 1987.
- FRÈRE, M.; POPOV, G. F. **Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1986. 194 p. (Estudio FAO: Produccion y proteccion vegetal, 73).
- FURLANI, A. M. C.; UNGARO, M. R. G.; QUAGGIO, J. A. Comportamento diferencial de genótipos de girassol quanto à absorção e uso do boro em campo e em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.187-194, 1990.
- GAY, C.; CORBINEAU, F.; CÔME, D. Effects of temperature and oxygen on seed germination and seedling growth in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 31, p. 193-200, 1991.

GOMES, E. M. **Parâmetros básicos para a irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2005. 117 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos)-Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2005.

GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. Efeitos da suplementação hídrica na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) sobre a produtividade de óleo e proteína dos grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** Campinas: Unicamp, Faculdade de Engenharia Agrícola: Embrapa Informática Agropecuária, 2004. 4 p. 1 CD-ROM.

GOMES, E. M.; UNGARO, M. R. G.; VIEIRA, D. B. Sunflower yield and root system development under water stress in tropical conditions. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 17., 2008, Córdoba. **Proceedings...** Córdoba: Consejería de Agricultura y Pesca, 2008. v. 2, p. 769-774.

GOYNE, P. J.; HAMMER, G. L. Phenology of sunflower cultivars. II. Controlled-environment studies of temperature and photoperiod effects. **Australian Journal of Research**, Sidney, v. 33, p. 251-261, 1982.

GOYNE, P. J.; SCHNEITER, A. A. Temperature and photoperiod interactions with the phenological development of sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 777-784, 1988.

GOOD, N. E.; BELL, D. H. Photosynthesis, plant productivity and crop yield. In: CARSON, P. S. **The biology of crop productivity**. New York: Academic Press, 1980. pt. 1, p. 3-51.

GULYA, T. J.; RASHID, K. Y.; MASIREVIC, S. M. Sunflower diseases. In: SCHNEITER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p. 263-379.

HALL, A. J. et al. Timing of water stress effects on yield components of sunflower. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 11., 1985, Mar del Plata. **Proceedings...** Mar del Plata: Asociación Argentina de Girasol, 1985. v. 11, n. 1, p. 131-136.

HALL, A. J.; CONNOR, D.J.; WHITFIELD, D. W. Root respiration during grain filling in sunflower: The effects of water stress. **Plant and Soil**, The Hague, v.121, p. 57-66, 1990.

HALL, A. J. Advances in the physiology of the sunflower crop: a ten-year progress report. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 2004, Fargo. **Proceedings...** Fargo: ISA, 2004. v. 16, n. 1, p. 29-41.

HANSAN, F. U.; AHMAD, R. A. Effects of seasonal variations on oil and fatty acid profile of sunflower. **Helia**, Novi Sad, v. 38, p. 159-166, 2003.

HARRIS, H. C.; McWILLIAN, J. R.; MASON, W. K. Influence of temperature on oil content and composition of sunflower seed. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 29, n. 4, p. 1203-12, 1978.

HESKETH, J. D.; MOOS, D. N. Variation in response of photosynthesis to light. **Crop Science**, Madison, v. 3, n. 1, p. 107-110, 1963.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, n. 24, p. 519-70, 1973.

KABBAJ, A. et al. Expression d'une stéarate et d'une oléate désaturées chez le tournesol normal et à haute teneur en acide oléique, clonage de fragments génomiques et variabilité chez quelques *Helianthus*. **OCL: Oleagineux Corps Gras Lipides**, Paris, v. 3, n. 6, p. 452-458, 1996.

CONNOR, D. J.; HALL, A. J. Sunflower physiology. In: SCHNEITER, A. A.; SEILER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p. 113-182. (Agronomy monograph, v. 35).

LAGRAVÉRE, T. et al. Effects of temperature variations on fatty acid composition in oleic sunflower oil (*Helianthus annuus* L.) hybrids. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 15., 2000, Toulouse. **Proceedings...** Paris: ISA, 2000. v. 15, n. 1, p. 73-78.

MAEDA, J. A.; UNGARO, M. R. G. Study of sunflower seeds dormancy. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 1985. Mar del Plata. **Proceedings...** Mar del Plata: Asociación Argentina de Girasol, 1985. v. 11, n. 1, p. 73-79.

MAEDA, J. A. et al. Estádio de maturação e qualidade de sementes de girassol. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 1, p. 35-44, 1987.

MARC, J.; PALMER, J. H. Photoperiodic sensitivity of inflorescence initiation and development in sunflower. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 4, p. 155-164. 1981.

MASSIGNAM, A. M. **Determinação de temperaturas-bases, graus-dia e influência de variáveis bioclimáticas na duração de fases fenológicas de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 1987. 87 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

MASSIGNAM, A. M.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 71-79, 1993.

MERRIEN, A. **Physiologie du tournesol**. Paris: CETIOM, 1992. 65 p.

MERRIEN, A.; MILAN, M. J. **Physiologie du tournesol**. Paris: Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains, 1992. p. 21-27. (Racines et feuilles).

MITCHELL, R. L. **Crop growth and culture**. Ames: Iowa State University Press, 1970. 349 p.

MONTEITH, J. L. The heat balance of soil beneath crop. In: CLIMATOLOGY and Microclimatology. Paris: UNESCO, 1958.

MONTEITH, J. L. Conservative behavior in the response of crops to water and light. In: RABBINGE, R. et al. (Ed.). **Theoretical production ecology**: Relections and prospects. Pudoc: Wageningen, 1990. p. 3-36.

MOSS, D. N. Photosynthesis, respiration, and photorespiration in higher plants. In: TESAR, M. B. (Ed.). **Physiological basis of crop growth and development**. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America, 1984. p. 131-52.

PUTT, E. D. Early history of sunflower. In: SCHNEITER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p. 1-19. (Agronomy. Series of monographs, 35).

QUAGGIO, J. et al. Sunflower response to lime and boron. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 1985, Mar del Plata. **Proceedings...** Mar del Plata: ASAGIR/ISA, 1985. v. 11, n. 1, p. 209-215.

RAWSON, H. M.; CONSTABLE, G. A.; HOWE, G. N. Carbon production of sunflower cultivars in field and controlled environments. II. Leaf growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 7, p. 575-586, 1980.

RAWSON, H. M. et al. Canopy development, light interception and seed production in sunflower as influenced by temperature and radiation. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 11, p. 255-65, 1984.

RAWSON, H. M.; MUNNS, R. Leaf expansion in sunflower as influenced by salinity and short term changes in carbon fixation. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 7, p. 207-213, 1984.

RAWSON, H. M.; HINDMARSH, J. H. Light, leaf expansion and seed yield in sunflower. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 10, p. 25-30, 1983.

RAWSON, H. M.; TURNER, N. C. Recovery from water stress in five sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. I. Effects of the timing of water application on leaf area and seed production. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 9, p. 437-448, 1982a.

- RAWSON, H. M.; TURNER, N. C. Recovery from water stress in five sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. II. The development of leaf area. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 9, p. 449-460, 1982b.
- RAWSON, H. M.; TURNER, N. C. Irrigation timing and relationships between leaf area and yield in sunflower. **Irrigation Science**, New York, v. 4, p. 167-175, 1983.
- ROBINSON, R. G. Adaptation and physiological aspects of the sunflower plant. In: CARTER, J. F. (Ed.). **Sunflower science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. 505 p. (Agronomy monographs, 19).
- ROBINSON, R. G. et al. Sunflower development at latitudes ranging from 31 to 49 degrees. **Crop Science**, Madison, v. 7, p. 134-37, 1967.
- ROCHE, J. et al. Variation on fatty acid content in seeds under scarce water resources for oleic and standard sunflowers. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 16., 2004, Fargo. **Proceedings...** Fargo, 2004. v. 2, p. 783-798.
- ROCHE, J.; BOUNIOLS, A.; BARRANCO, T. Variation on fatty acid content in seeds under scarce water resources for oleic standard sunflowers. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 2008, Cordoba. **Proceedings...** Cordoba: Consejería de Agricultura y Pesca, 2008. v. 17, n. 2, p. 783-791.
- RONDANINI, D.; SAVIN, R.; HALL, A. J. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, p. 79-90, 2003.
- SADRAS, V. O.; HALL, A. J. Quantification of temperature, photoperiod and population effects on plant leaf area in sunflower crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 18, p. 185-196, 1988.
- SADRAS, V. O. et al. Dynamics of rooting and root length: leaf area relationships as affected by plant population in sunflower crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 22, p. 45-57, 1989.
- SCHNEITER, A. A.; MILLER, J. F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, Madison, v. 21, p. 901-903, 1981.
- SCHOFFEL, E. R. **Importância agroecológica dos ventos**. [200-?]. Slides apresentados na disciplina Agrometeorologia, na Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/fitotecnia/graduacao/agromet/vento2.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2008.
- SEILER, G. J. Effect of genotype, flowering date, and environment on oil content and oil quality of wild sunflower seed. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 1063-1068, 1983.
- SHELL, G. S. G.; LANG, A. R. G. Movements of sunflower leaves over a 24-h period. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 16, p. 161-170, 1976.
- SHIBLES, R. M.; WEBER, C. R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 55-58, 1966.
- SILVA, P. R. F. Sucessão e rotação de culturas. In: GIRASSOL: Indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul: IPAGRO, 1988. p. 63-66.
- SILVER, J. G. et al. Unsaturated fatty acid synthesis during the development of isolated sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 35, n. 159, p. 1507-1514, 1984.
- SINGH, D. A.; SINGH, S. M. Impact of irrigation on sunflower productivity. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE Tournesol, 15., 2000, Toulouse. **Proceedings...** Toulouse: International Sunflower Association, 2000. v. 1, p. C109-C114.
- SOMERS, D. A.; ULTRICH, S. E.; RAMSAY, M. F. Sunflower germination under stimulated drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 570-572, 1983.
- STEER, B. T.; HOCKING, P. J. Characters of sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.) suited to irrigated production. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 15, p. 369-387, 1987.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TALHA, M.; OSMAN, T. Effect of soil water stress and water economy on oil composition in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 84, p. 49-56, 1975.
- TRÁPANI, N. et al. Short duration waterlogging events during grain filling in sunflower: effects on yield and its components. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 2004, Fargo. **Proceedings...** Fargo: ISA, 2004. v. 16, n. 1, p. 281-286.
- TURNER, N. C.; BEGG, J. E. Plant-water relations and adaptation to stress. **Plant and Soil**, The Hague, v. 58, p. 97-131, 1981.
- UNGER, P. W. Sunflower. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, 1990. p. 775-794. (Agronomy series, n. 30).
- UNGER, P. W.; THOMPSON, T. E. Planting date effects on sunflower head and seed development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 389-395, 1982.
- UNGARO, M. R. G. Preferência de pássaros por diferentes genótipos de girassol. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 78, n. 1, p. 129-138, 2003.
- UNGARO, M. R. G. **Comportamento de introduções de girassol plantadas em diferentes épocas e locais do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 16 p. (Boletim técnico, 103).
- UNGARO, M. R. G. **Cultura de girassol**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 36 p. (Boletim técnico, 188).
- UNGARO, M. R. G. et al. Comportamento do girassol em relação à acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 41-48, 1985.
- UNGARO, M. R. G.; MAEDA, J. A.; SANTOS, R. R. Relation between planting and harvest dates and sunflowerseed dormancy. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 1992, Pisa, Itália. Pisa: ISA, 1992. v. 13, n. 2, p. 447-452.
- UNGARO, M. R. G. et al. Effect of crop rotation on soil chemical conditions and sunflower, soybean and maize production. **Helia**, Novi Sad, v. 23, n. 32, p. 1-18, 2000.
- UNGARO, M. R. G. et al. Influência da temperatura do ar no teor de óleo e composição de aquênios de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 4, p. 351-356, 1997.
- VILLALOBOS, F. J.; RITCHIE, J. T. The effect of temperature on leaf emergence rates of sunflower genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 29, p. 37-46, 1992.
- VILLALOBOS, F. J. et al. Planting density effects on dry matter partitioning and productivity of sunflower genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, p. 1-11, 1994.
- VRÂNCEANU, A. V. **El girassol**. Madrid: Mundi-Prensa, 1977. 379 p.
- WHITFIELD, D. M.; CONNOR, D. J.; HALL, A. J. Carbon dioxide balance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) subjected to water stress during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 65-80, 1989.
- ZIEGLER, E.; HEPLER, P. K. Light and stomatal function: blue light stimulates of guard cell photoplast. **Science**, Washington, DC, v. 196, p. 887-889, 1977.
- ZIMMER, D. E.; ZIMMERMAN, D. C. Influence of some diseases on achene and oil quality of sunflower. **Crop Science**, Madison, v. 12, p. 859-861, 1972.



# MAMONA

*Foto: Kriss Szkurlatowski*





## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Schultz (1963), Vidal e Vidal (1980) e Popova e Moshkin (1986), a mamoneira pertence ao filo Angiospermae, classe Dicotyledonae, subclasse Archichlamydae, ordem Geraniales, família Euphorbiaceae, gênero *Ricinus*, espécie *Ricinus communis* e subespécie *Ricinus communis comunis*. Outras subespécies, como *R. sinensis*, *R. zanzibariensis*, *R. persicus* e *R. africanus*, são as mais conhecidas, englobando 25 variedades botânicas, compatíveis entre si (SAVY FILHO, 2005).

A mamona tem o maior centro de diversidade na região entre a Etiópia e o leste da África, ocorrendo em regiões de clima tropical e subtropical (entre os paralelos 40°N e 40°S). No período compreendido entre 1978 a 2005, a Índia, a China e o Brasil foram os principais produtores mundiais de mamona em baga, tanto em área colhida quanto na quantidade produzida (SANTOS et al., 2007).

A mamona desponta como cultura de grande potencial econômico para o Brasil, possuindo boa capacidade de adaptação e vegetando desde o Rio Grande do Sul até a Amazônia. Por se tratar de planta tolerante à seca e exigente ao calor e à luminosidade, acha-se disseminada por quase todo o Nordeste, onde se concentra a maior parte da produção nacional.

No cenário de oleaginosas utilizadas para a produção de biodiesel, a mamona vem ganhando grande destaque por ser abundante no Nordeste brasileiro e pelo seu alto teor de óleo (entre 45 % e 50 %), assumindo relevante papel no desenvolvimento econômico e social, pois permitirá o incentivo à agricultura familiar e conseqüente elevação da qualidade de vida no Semi-árido, especialmente quando cultivada em consórcio com outras culturas (AZEVEDO & LIMA, 2001).

A crescente consciência global pela preservação ambiental, com base na substituição dos combustíveis minerais derivados do petróleo por outros de origem vegetal, dentre eles o biodiesel do óleo da mamona, criou uma perspectiva real para a expansão do cultivo da mamona em escala comercial, principalmente na agricultura familiar (BELTRÃO, 2002). Além disso, o óleo de mamona pode ser usado na fabricação de tintas e isolantes, servindo, ainda, como lubrificante na Aeronáutica, como base na manufatura de cosméticos, drogas e farmacêuticos e em vários outros processos industriais.

### Fenologia e desenvolvimento

A mamoneira é uma planta de elevada complexidade morfofisiológica, apresentando crescimento dicotômico, do tipo indeterminado, além de fortemente alométrico e heregônico, com desenvolvimento heteroblástico, com forma juvenil diferente da forma adulta.

O zoneamento agroecológico é estrategicamente importante para o bom desempenho da mamoneira, pois identifica regiões e épocas favoráveis ao seu crescimento e desenvolvimento. Na Figura 1 pode ser visto um campo de mamona fora do seu ótimo ecológico que, embora a planta tenha crescido muito, seu desenvolvimento não foi qualitativo (conforme a fenologia da planta), ou seja, não acompanhou as fases ou estádios do desenvolvimento.

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., EMBRAPA – Algodão, Campina Grande. R. Oswaldo Cruz, 1143, C.P. 174, CEP 58107-720, Campina Grande, PB. E-mail: chgeral@cnpa.embrapa.br  
2- Bióloga, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Algodão.  
3- Eng. Agrônomo, Dr., EMBRAPA – Algodão.  
4- Meteorologista, Dr., Universidade Estadual da Paraíba - UEPB/EMEPA-PB. E-mail: fideles@uepb.rpp.br





Figura 1. Mamoneira BRS Paraguaçu que, por falta de água, se desenvolveu sem ter crescido. Campina Grande, PB 2006.

O crescimento da mamoneira apresenta alometria quase perfeita, com proporcionalidade entre as taxas de crescimento e os diversos órgãos da planta. O crescimento e o desenvolvimento são aparentemente antagônicos, porém, para rendimento satisfatório da produtividade econômica (sementes) tem que haver o equilíbrio entre o crescimento e o desenvolvimento, ou seja, a planta deve crescer bem para suportar as estruturas de reprodução.

A mamoneira tem crescimento do tipo indeterminado. A haste principal cresce verticalmente, sem ramificações, até o surgimento da inflorescência. O nó, no qual o primeiro racemo aparece, é uma importante característica agrônômica, associado à precocidade da planta. O ramo lateral surge, cresce e desenvolve-se da axila da última folha, logo abaixo de cada inflorescência. À semelhança da haste principal, todos os ramos de 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> ordens apresentam crescimento limitado, terminando sempre em uma inflorescência, formando uma estrutura simpodial (MAZZANI, 1983; BELTRÃO et al., 2001).

Nas regiões tropicais, a mamoneira chega a ter ciclo de 250 a 300 dias, embora floresça (1<sup>o</sup> cacho) com apenas 50 a 60 dias da germinação, como ocorre com as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Nordestina. Para uma produtividade média de 1.500 Kg/ha de bagas, a planta produz cerca de cinco cachos, de diversas ordens, podendo o cacho principal representar até metade da produção, dependendo do ambiente e dos níveis populacionais da cultura (BELTRÃO et al., 2007).

Uma boa variedade deve apresentar floração num período ligeiramente curto para permitir uniformidade na frutificação. No entanto, em geral, esta espécie apresenta amadurecimento não uniforme, onde cada cacho tem idade de amadurecimento diferente, ou seja, cada um independe do outro.

Outra característica importante é que a planta pode recrescer, conforme as condições do ambiente (MOSHKIN, 1986a). Dessa forma, mesmo terminando a maturidade, algumas partes da planta continuam crescendo, e assim, não há determinação do período vegetativo nem do reprodutivo, e a maturação depende da ordem de cada cacho.

Segundo Moshkin (1986a), a mamona apresenta 12 estádios de desenvolvimento, cada um com determinado período de crescimento (Tabela 1 e Figura 2). A duração de cada estágio depende da cultivar e do ambiente, em especial da temperatura e da precipitação pluvial. No final do primeiro ano, com a chegada do período seco, a planta entra em senescência total, perdendo a maioria das folhas e entrando em dormência, paralisando o surgimento de novos cachos (MOSHKIN, 1986b). Logo após o início das chuvas do ano seguinte, com ou sem poda (recepagem de 30 cm ou de 50 cm de altura), ocorre a rebrota e outra safra, às vezes superior à obtida no primeiro ano.

**Tabela 1. Escala fenológica da mamoneira.**

FASE	ESTÁDIO	DESCRIÇÃO
Vegetativa	1º	Germinação, demorando entre 8 e 18 dias.
	2º	Formação das folhas opostas e verdadeiras, variando entre 7 e 17 dias.
	3º	Segmentação do eixo do racemo, que ocorre rapidamente e finaliza com a formação da quinta e da sexta folha verdadeira, com a iniciação da gema axilar lateral.
	4º	Diferenciação do meristema primário e à formação do rendimento do racemo, tendo de 7 a 18 dias.
	5º	Diferenciação da parte floral, demorando de 10 a 17 dias.
	6º	Formação do pólen e do saco embrionário.
	7º	Refere-se à diferenciação e ao crescimento do racemo.
	8º	Fase de brotamento.
Reprodutiva	9º	Floração e polinização.
	10º	Formação de frutos e sementes. O período de frutificação é muito variável, podendo chegar a 90 dias em cultivares precoces.
	11º	Deposição da cera.
	12º	Corresponde à maturação, podendo chegar a 90 dias em cultivares precoces.

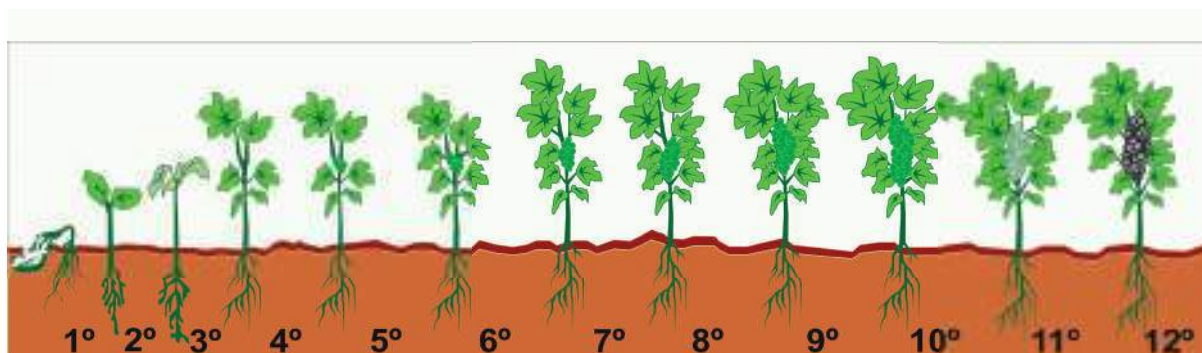


Figura 2. Estádios do desenvolvimento da mamona. Adaptado de Yaroslavskaya (1986).

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

A mamoneira é planta heliófila, de clima tropical e subtropical, de ampla capacidade de adaptação (MAZZANI, 1983 e AMORIM NETO et al. 2001), apresentando grande tolerância à seca e exigente em calor e luminosidade (CARTAXO et al., 2004).

Dentre os fatores desfavoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento da mamoneira, destacam-se a alta umidade do ar, a intensa nebulosidade, a alta concentração de sais no solo ou na água de irrigação e a baixa disponibilidade de oxigênio nas raízes, seja por encharcamento ou por compactação do solo.

Para se obter bons níveis de produtividade, o zoneamento agrícola é uma ferramenta de grande utilidade, pois se baseia no estudo preliminar das características climáticas relacionadas às necessidades da cultura. A interação resultante determina o período mais adequado ao cultivo e, dentro dele, a escolha das melhores datas de plantio. A mamoneira, para produzir bem em regime de sequeiro no Semi-árido brasileiro, necessita de temperatura média do ar entre 20°C e 30°C.

A altitude pode influenciar a planta da mamoneira por diversos fatores, como nebulosidade, umidade e pressão de oxigênio, mas principalmente pela temperatura, que tende a decrescer à medida que a altitude aumenta. A temperatura tem grande impacto sobre a fotossíntese e a respiração da planta, pois influencia diversas reações bioquímicas ligadas a esses dois processos fisiológicos (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O Estado da Bahia é o maior produtor nacional e, considerando as condições climáticas dos principais municípios produtores de mamona desse Estado, pode-se inferir que o ótimo ecológico para a cultura da mamona é altitude superior a 400 m e precipitação pluvial anual superior a 400 mm, concentrada em torno de 4 a 6 meses. A amplitude térmica está em torno de 4°C e a insolação anual, superior a 2 mil horas.

## 2.1 Disponibilidade hídrica

A mamoneira, para produzir bem em regime de sequeiro no Semi-árido brasileiro, necessita de pelo menos 500 mm de precipitação pluvial por ciclo.

Chuvvas em torno de 600 a 700 mm têm sido associadas a rendimentos superiores a 1.500 kg/ha, sendo viável economicamente em áreas onde a precipitação pluvial mínima esteja entre 400 e 500 mm. A ocorrência de chuvas regulares é particularmente importante nos estágios de desenvolvimento vegetativo e enchimento das bagas, quando é maior a demanda de água no solo. No estágio de formação de frutos e sementes, a deficiência hídrica provoca decréscimo no peso e no teor de óleo nas bagas. Após essa fase, o ambiente seco é mais favorável ao longo do estágio de maturação. Chuvas excessivas nestes dois últimos estágios são prejudiciais, por favorecer a incidência de doenças e provocar a perda dos frutos maduros.

Quando cultivada em solos mais profundos, os cultivares que apresentam maior desenvolvimento da raiz principal tendem a ter melhor desempenho no período de seca.

As características físicas e químicas do solo influenciam as respostas morfofisiológicas da mamoneira. Esta espécie desenvolve-se bem em solos de textura média, classificados como do Tipo 2 (contendo entre 15 e 35% de argila e até 70% de areia, com profundidade igual ou superior a 50 cm); do Tipo 3, onde se encontram solos com teores de argila superiores a 35%, com profundidade igual ou superior a 50 cm; e solos que apresentam teores de argila inferiores a 35% e de areia, inferiores a 15% (textura siltosa), com profundidade igual ou superior a 50 cm.

Solos de textura argilosa e com drenagem deficiente, tendo em vista a sensibilidade à hipoxia, resultam em morte da raiz pivotante e emissão de raízes laterais que se situam próximo à superfície do solo. Tais alterações na arquitetura e na distribuição radicular poderão predispor a mamoneira ao estresse hídrico, durante os veranicos (Figura 3).

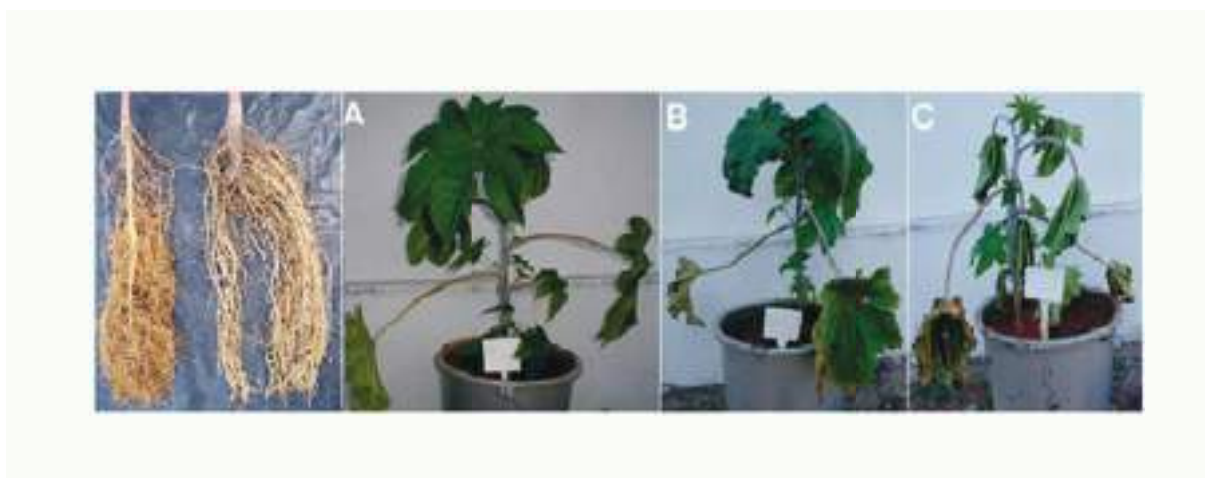


Figura 3. Raízes de mamoneira com desenvolvimento normal (à esquerda) e submetido à hipoxia (à direita). A, B e C referem-se a três, quatro e seis dias de estresse, respectivamente. (Foto: Severino et al., 2005).

Variáveis agrometeorológicas, tais como disponibilidade hídrica, temperatura, radiação solar, fotoperíodo e ventos, são também determinantes no rendimento de *Ricinus communis*. A mamoneira, embora apresente tolerância relativa ao déficit hídrico, requer, durante o seu ciclo, precipitação de pelo menos 500 mm. O rendimento desta cultura é influenciado pela disponibilidade hídrica, especialmente a partir do início da fase reprodutiva que ocorre, em média, a partir de 60 dias após a semeadura e se estende até cerca de 160, dependendo do genótipo.

Os resultados obtidos, a partir de vários estudos, evidenciam alterações morfofisiológicas da mamoneira frente ao déficit hídrico. A taxa de crescimento da planta diminui rapidamente em resposta ao déficit hídrico, muitas vezes antes mesmo da redução da taxa de fotossíntese líquida.

Partes da planta em crescimento são altamente sensíveis às alterações ambientais, tais como o déficit hídrico, e podem determinar o comportamento da planta inteira, por regulação via *feedback* (KRAPP et al., 1993).

Estudos têm sido conduzidos para verificar o desenvolvimento citológico em folhas de mamoneira submetidas ao déficit hídrico. Os resultados evidenciam que, embora haja redução do crescimento da parte aérea, as relações dos componentes celulares, tais como espessura da camada de tecido paliçádico, densidade celular e de estômatos, entre plantas estressadas e o tratamento controle foram inalteradas (HECKENBERGER et al., 1998).

A determinação dos valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) é fundamental para se conhecer as necessidades hídricas da cultura ao longo dos estádios de desenvolvimento. Andrade Júnior et al., (2008) mediram o  $K_c$  da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.), em Alvorada do Gurguéia, PI (8°26'S, 43°52'W e 280m), e encontraram, no sistema monocultivo, valores mínimo de 0,25, nos primeiros 40 dias após o plantio (DAP), que corresponde às fases de germinação até a formação da 5ª-6ª folhas, com iniciação da gema axilar lateral. Com o desenvolvimento da cultura, o  $K_c$  aumentou, alcançando o valor máximo de 0,75, dos 71 DAP aos 100 DAP, coincidindo com o período de diferenciação da parte floral a formação dos frutos e sementes. A partir desse pico, verificou-se um decréscimo, próprio da fisiologia da cultivar, alcançando valores de 0,30 a 0,15, no período que se estende da maturação até a colheita dos primeiros cachos. Nos experimentos consorciados com feijão caupi, o  $K_c$  medido apresentou valor mínimo de 0,40, nos primeiros 25 DAP, durante a fase de formação das folhas opostas. Com o desenvolvimento das culturas, o  $K_c$  aumentou, alcançando o valor máximo de 1,20, dos 51 aos 60 DAP, coincidindo com o período de formação e enchimento de vagens do feijão caupi. A partir desse pico, verificou-se um decréscimo até a fase de maturidade fisiológica, atingindo valores de  $K_c$  de 0,70 a 0,60, dos 66 aos 70 dias após plantio. A demanda hídrica do consórcio foi superior, em relação ao sistema monocultivo.

## 2.2 Temperatura

Muitas sementes ricas em lipídeos, como a mamona, são severamente injuriadas quando expostas a temperaturas extremas. Sob temperaturas baixas, ocorre redução da atividade de enzimas envolvidas na germinação, além de alterações na composição lipídica da membrana, em plantas sensíveis.

Os estudos efetuados, utilizando *Ricinus communis* como organismo modelo, evidenciam sua sensibilidade a temperaturas baixas. Em tais condições, as plantas apresentam sintomas de redução do crescimento do sistema radicular e da mobilização de substâncias de reserva.

A temperatura base inferior para o processo de germinação é de 14° C. Temperaturas baixas prolongam o período de germinação e, conseqüentemente, a permanência das sementes no solo, predispondo-as ao ataque de microrganismos e insetos-praga. Por outro lado, temperaturas supra-ótimas também influenciam negativamente os eventos relacionados a este processo. Considera-se que a temperatura máxima para a germinação está ao redor de 36° C. Temperaturas ao redor de 31° C são consideradas ótimas para o sucesso deste evento (BREIDENBACH et al., 1974).

A mamoneira necessita acumular entre 2.000 e 3.800 graus-dias para alcançar rendimentos viáveis economicamente (MOSHKIN, 1986c). Produz bem em ambientes onde a temperatura noturna não seja elevada, isto é, em torno de 20°C, o que não ocorre em baixas altitudes. Temperaturas noturnas

elevadas, próximas a 30° C, comuns em regiões litorâneas, conduzem ao aumento da fotorespiração, conseqüentemente, reduzindo a fotossíntese líquida, a produção de biomassa, o número de frutos por cacho e o aumento do número de flores masculinas, que promovem a taxa de aborto de flores femininas (BELTRÃO et al., 2007b). Temperaturas diurnas muito elevadas, superiores a 40° C, provocam aborto de flores, reversão sexual de flores femininas em masculinas e redução substancial do teor de óleo nas sementes (BELTRÃO & SILVA, 1999).

Tem sido verificado que o teor de óleo presente nas sementes é proporcional à soma do calor recebido pela planta em todo o seu ciclo vegetativo. Embora se adapte facilmente às regiões subtropicais, o acúmulo insuficiente de calor conduzirá à redução do teor e a modificações na composição do óleo produzido (KUMAR et al., 1999). Quando submetidas a temperaturas ao redor de 10° C, as plantas não produzem sementes, em decorrência da perda de viabilidade de pólen (TÁVORA, 1982).

A temperatura limitante durante o processo de germinação é de 14° C, com o máximo de 36° e o ótimo de 31° C. Somente na floração, tem necessidade de pelo menos 800° C a 1.200° e, de 1.200° C a 2.000°C, no período de frutificação (MOSHKIN, 1986b).

Em locais com temperaturas elevadas, superiores a 30° C, pode ocorrer aumento dos ácidos livres no óleo, reduzindo sua qualidade (WEISS, 1983). Há interações complexas entre a luminosidade e a temperatura, respondendo a planta da mamona às variações desses dois fatores ambientais.

### 2.3 Radiação solar

Em dias ensolarados, folhas situadas no topo do dossel recebem intensidades luminosas que excedem sua capacidade fotossintética. A co-evolução sob essas condições tem permitido às várias espécies vegetais aperfeiçoarem o aparato fotossintético em detrimento dos mecanismos que auxiliam a fotoproteção. Embora de modo simplificado, sob irradiância elevada, outros fatores, tais como a manutenção do *status* hídrico, muitas vezes conduzem à alterações fisiológicas, maximizando a fotossíntese (ORT & BAKER, 1988). Desse modo, a regulação da fotossíntese foliar tem sido considerada como um balanço dinâmico no qual a fotoproteção é reversivelmente trocada pela eficiência fotossintética. A dissipação térmica constitui-se em mecanismo central na fotoproteção. Não obstante, a fotoproteção global é constituída por um conjunto de processos que incluem movimento foliar e de cloroplasto, detoxificação de moléculas reativas produzidas no processo de fotossíntese por meio de intrincadas vias bioquímicas, variados processos reparadores, os quais impedem o acúmulo de moléculas potencialmente reativas, e a utilização da luz absorvida em excesso, sob níveis baixos de CO<sub>2</sub>, por um arranjo alternativo de aceptores de elétrons.

A mamoneira apresenta taxas elevadas de fotossíntese quando suas exigências ecológicas são atendidas. Tem sido sugerido que o maior conteúdo de clorofila, de proteínas solúveis totais e de ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase, por área foliar em mamoneira, exerçam influência na maior taxa de fotossíntese constatada (DAI et al., 1992). Trabalhando com a cultivar BRS Paraguaçu, em condições controladas, BELTRÃO et al. (2003a) verificaram que a fotossíntese, em condições sem estresse ambiental, em especial o hídrico e o térmico, apresentou valor em torno de 16,58  $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}$ , e que a respiração mitocondrial, nas mesmas condições, atingiu valores em média 4 vezes menores, em laboratório.

Respostas da mamoneira à luz (em 30° C e em déficit de pressão de vapor de 3 milibar) têm permitido verificar que há um aumento gradativo da taxa fotossintética com o aumento da radiação fotossinteticamente ativa, variando de próximo de 0,0 em 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  até o máximo em 1800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Por outro lado, sob elevado déficit de pressão de vapor (30 milibares), a fotossíntese satura-se ao redor de 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , diminuindo em intensidades superiores. Sob esta condição, a taxa de fotossíntese líquida foi inferior a 50%, comparada às plantas mantidas sob baixo déficit de pressão de vapor, especialmente nas maiores intensidades luminosas avaliadas. Em condições de déficit de pressão de vapor elevado (30 milibares), tem sido verificado que o aumento da intensidade luminosa conduz à inibição relativa da fotossíntese a partir de 1200  $\mu\text{mol .m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (DAI et al., 1992).

## 2.4 Fotoperíodo

No início do século XX, pesquisadores descobriram que o florescimento é controlado pelo fotoperíodo, ou seja, pelo tempo de exposição à luz. Plantas nas quais o florescimento ocorria em condições de crescimento sob noites longas e dias curtos passaram a ser classificadas como plantas de dias-curto e, aquelas em que o florescimento ocorria em noites curtas e dias longos, foram agrupadas como plantas de dias-longo.

A mamoneira é considerada de dia longo. Entretanto, adapta-se às regiões de dias curtos, desde que haja pelo menos nove horas de luz. O desenvolvimento é favorecido sob condições de elevado brilho solar, com cerca de 12 horas de luz.dia<sup>-1</sup> (BELTRÃO & SILVA, 1999). Dias longos conduzem à formação de flores femininas, enquanto dias curtos favorecem a emissão de flores masculinas (MOSHKIN, 1986b).

O fotoperíodo intenso contribui para o aumento da porcentagem de óleo, devendo-se evitar o cultivo em áreas sombreadas, onde as plantas passam a desenvolver as partes vegetativas em detrimento das sementes e do teor de óleo (SUDENE, 1989).

## 2.5 Vento

Nesta oleaginosa, em decorrência de seu tipo de inflorescência, em especial da sua conformação e da distribuição de flores, a polinização é do tipo anemófila, podendo a taxa de alogamia chegar a mais de 40%, embora seja considerada autógama (RIBEIRO-FILHO, 1966). A taxa de alogamia pode variar entre 5 e 40%, dependendo das condições climáticas. Considerando suas características intrínsecas, dependendo da velocidade do vento, torna-se importante o isolamento de áreas destinadas à produção de sementes. Com este fim, têm sido adotados isolamentos de até 1000 m entre áreas contíguas ou implantação de cercas vivas a partir do cultivo de espécies florestais, as quais impedem a disseminação de pólen a grandes distâncias. Esta prática possibilita reduzir para 500 m a distância de isolamento entre duas áreas.

A partir de vários estudos efetuados, constatou-se que, em cultivos de grandes extensões, a disseminação de pólen pelo vento pode alcançar entre 2,5 e 3,0 km. Em áreas de cultivo menores, em decorrência da menor produção de pólen, o isolamento pode ser reduzido para 250-300 m. Adicionalmente, estudos têm verificado a presença de quantidades elevadas de pólen à 60 cm acima do dossel. Entretanto, à 3 m do topo das plantas, houve redução da sua presença em aproximadamente 10 vezes (MOSHKIN, 1986a).

O vento afeta o crescimento das plantas sob três aspectos: transpiração, absorção de CO<sub>2</sub> e efeito mecânico sobre as folhas e ramos.

Experimentos controlados comprovam que a transpiração aumenta com a velocidade do vento até certo ponto, além do qual não se verificam modificações significativas. O exato relacionamento entre o vento e a transpiração, entretanto, varia grandemente com as espécies. O efeito do vento sobre a transpiração pode também variar com a temperatura e a umidade do ar que incidem sobre as plantas, podendo atingir cerca de 6% da perda total de água de uma cultura anual, porém, com valores maiores sob condições áridas, provocando rápido secamento das plantas (ASSIS, 2009). A fotossíntese aumenta com o suprimento de CO<sub>2</sub> que, por sua vez, é favorecido pela turbulência. Altas velocidades são prejudiciais ao crescimento das plantas. Folhas danificadas pelo vento têm reduzidas a sua capacidade de translocação e fotossíntese (ASSIS, 2009).

Determinações de umidade nas folhas mostraram que a inibição da fotossíntese não foi devido à perda de água. Uma vez que as plantas não reagem, da mesma maneira, aos ventos fortes, Whitehead (1957), classificou-as em três grupos: a) as que escapam à ação do vento: são plantas comumente pequenas, cuja parte aérea não cresce acima de uma camada de ar relativamente fina, próxima ao solo e, sendo assim, são menos afetadas pelos ventos fortes; b) as que toleram os ventos: plantas deste grupo apresentaram uma marcada diminuição da produção de matéria seca com o aumento da velocidade do vento, porém em menor proporção do que as plantas do grupo a seguir; c) as sensíveis

ao vento: plantas destas espécies são afetadas pelos ventos fortes de tal maneira que não podem sobreviver. Tanto a altura da planta quanto a produção de matéria seca decresceram rapidamente com o incremento da velocidade do vento.

Plantas que tenham crescido em condições de ventos fortes, por um longo período, podem desenvolver certas características fisiológicas, por exemplo, maior proporção de raiz em comparação com a parte aérea, maior largura e espessura das folhas, etc.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuvas intensas

O granizo ocorre com mais frequência nas regiões continentais das médias latitudes, diminuindo em regiões marítimas e equatoriais. Também ocorre com grande frequência nas altas altitudes das regiões tropicais. Teoricamente, o grau de dano causado às plantas depende do tamanho das pedras, da densidade por área, da duração da tempestade, da velocidade de queda e da idade das plantas.

Dependendo da intensidade, o granizo pode danificar frutos, folhas e caules da mamoneira, causando enormes perdas ou predispondo a planta à proliferação de doenças. Para avaliar o dano causado pelo granizo, é interessante saber a época em que ocorre, o tamanho e a densidade. Quando a densidade é inferior a dez pedras por 0,10 m<sup>2</sup>, usualmente, não ocorrem danos apreciáveis (CARDOSO et al.; 2008). Áreas com alta probabilidade de ocorrência de granizo não devem ser utilizadas para plantio.

Na maior parte do mundo, a agricultura usa a precipitação natural para satisfazer às necessidades hídricas das culturas. Esses agroecossistemas devem ajustar-se à distribuição, intensidades e variabilidade da chuva característica do clima local. Porém, a ocorrência de chuvas muito fortes pode provocar a queda dos frutos, ocasionando perdas de produção.

Tanto a escassez quanto o excesso de chuvas, no período da floração, podem reduzir a produtividade da planta, sendo mais tolerante à escassez que ao excesso.

#### 3.2 Seca fora de época e veranicos

A precipitação durante o período chuvoso pode ser irregular, havendo dias de chuvas intensas intercalados com períodos curtos de estiagem. Tais períodos são conhecidos por 'veranicos' e podem ser danosos ao crescimento da cultura; dependendo da duração, podem comprometer toda uma safra.

A mamoneira é bastante tolerante à seca devido, principalmente, à robustez do sistema radicular, do tipo pivotante com raízes ocas. Em algumas cultivares chega a alcançar seis metros de profundidade, tendo capacidade de explorar as camadas mais profundas do solo. Além disso, apresenta mecanismos de tolerância à deficiência de água no solo, como o acúmulo de metabólitos nas raízes, em especial o amido, a regulação osmótica.

A ocorrência de veranicos no período da floração pode reduzir a produtividade da planta, enquanto na fase da maturação dos frutos, reduzirá o peso das sementes e o teor de óleo.

Quando cultivada em solos mais profundos, as cultivares que apresentam maior desenvolvimento da raiz principal tendem a ter melhor desempenho no período de seca.

#### 3.3 Vento intenso

Os efeitos físicos do vento sobre organismos podem ter importância ecológica. Isto é especialmente verdadeiro em áreas que tendem a ter ventos mais constantes. Em geral, como todos os fatores do ambiente, a magnitude do efeito do vento depende de sua intensidade, duração e época, podendo provocar dessecação, redução no porte, deformação e outros danos..

## Dessecação

Cada abertura estomatal na folha leva a um espaço de ar no qual a troca gasosa ocorre nas paredes celulares das células circundantes. Esse espaço é saturado de umidade e, desde que os estômatos estejam abertos, o vapor d'água flui de dentro para fora das folhas. Quando não há vento, cria-se uma camada limítrofe de ar saturado ao redor da superfície da folha. Ocorrendo vento, o ar remove o vapor d'água por advecção, e aumenta a transpiração e a perda total de água pela planta. A taxa de dessecação aumenta proporcionalmente com a velocidade do vento, até uma velocidade de cerca de 10 km/h, quando uma taxa máxima de perda é alcançada.

A perda normal de água pela planta pode ser prontamente substituída por absorção pelas raízes e transporte subsequente para as folhas. Se a taxa de dessecação exceder à da substituição, pode ocorrer murcha. A murcha excessiva pode afetar seriamente a função normal das folhas, em especial a fotossíntese, acarretando um crescimento mais lento de toda a planta e, inclusive, a morte.

## Redução do Porte

Existe uma correlação direta entre o vento e a relação da estrutura da planta. Quando cultivada em áreas com ventos constantes, a planta tem, normalmente, uma estrutura menor do que semelhantes cultivadas em áreas com ausência de ventos. A pequena estrutura é resultado da dessecação constante, que provoca células menores e uma planta mais compacta. Onde os ventos são mais variáveis e períodos extensos de calma se alternam com períodos de intensidade, as plantas não tendem a ter redução do porte (GLIESSMAN, 2000).

## Deformação

Quando os ventos são relativamente constantes e basicamente oriundos da mesma direção, podem alterar permanentemente a forma de crescimento das plantas de mamona. A deformação pode assumir muitas formas, desde uma inclinação permanente na direção contrária do vento até uma forma de bandeira ou hábito prostrado (GLIESSMAN, 2000).

## Danos

Se ventos fortes não forem comuns e se ocorrem especialmente durante chuvas pesadas, podem causar danos às plantas de mamona. As folhas podem ser dilaceradas ou removidas, suas superfícies podem sofrer abrasão, ramos podem ser quebrados e plantas inteiras podem ser arrancadas.

## 3.4 Geadas

Mesmo com elevada capacidade de adaptação, a mamoneira não tolera geadas durante o seu ciclo de desenvolvimento. O risco de geadas deve ser considerado um fator restritivo ao cultivo da espécie.

Temperaturas médias do ar inferiores a 10°C podem inviabilizar o pólen, impedindo, também, a produção de sementes. Na região Sul do Brasil, como nas demais regiões do País, é viável o cultivo da mamona, desde que a semeadura seja feita nos períodos livres de geada. Não é recomendada sua semeadura em zonas com altitudes maiores que 1000 metros, pois o risco de geadas é maior e não há tempo suficiente para a espécie completar o ciclo, que é de, no mínimo, 120 dias. Nas zonas com menos de 1000 metros, a mamona encontra condições ótimas para o desenvolvimento, no período do ano em que as temperaturas do ar são mais elevadas, devendo-se, contudo, evitar as baixadas, onde se formam bolsões de ar frio (WREG, 2007).

Temperaturas muito baixas, como -2° C por um período de 4 horas, podem ser letais às plantas (WEISS, 1983).



### 3.5 Chuva excessiva

De maneira geral, vários autores, sem detalharem as fases da cultura da mamona, salientam que esta espécie é bastante sensível ao estresse de água (HERMERLY, 1981; WEISS, 1983). A mamoneira é muito sensível à deficiência de oxigênio (hipoxia) no sistema radicular, sendo portanto, muito sensível a períodos com excedente hídrico prolongado, em qualquer fase do ciclo da cultura.

Chuvas acumuladas anuais superiores a 1.500 mm são consideradas excessivas para essa planta, podendo provocar, além de hipoxia nas raízes, efeitos adversos como o crescimento excessivo e favorecer a ocorrência de doenças (AMORIM NETO et al., 2001). São comuns a queda e a perda de frutos maduros quando ocorrem chuvas fortes.

Segundo Beltrão et al. (2003b, c), o estresse hídrico, tanto por deficiência quanto por excesso, reduz a altura das plantas, a fitomassa total, a relação raiz/parte aérea, a fotossíntese da planta, bem como o processo respiratório oxidativo, além de alterações no metabolismo da planta, como redução da atividade da invertase, enzima chave no metabolismo dos açúcares, transformando a sacarose em glicose e frutose, e incremento da atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, especialmente com o excesso de água no solo e conseqüente deficiência de oxigênio.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A altitude é um fator secundário extremamente importante na fisiologia da mamoneira, pois interfere em diversos outros fatores ditos primários. Altera a temperatura do ar, a taxa do orvalho, o grau de nebulosidade e conseqüentemente a insolação, a taxa de irradiação e outros fatores, condicionando as plantas a mudanças fisiológicas e bioquímicas. Quando cultivada em baixas altitudes, a mamoneira tende a perder energia pela respiração noturna e sofrer redução na produtividade. A latitude pode substituir em parte a altitude. Há interferência da altitude em vários fatores do clima e por ser a mamona uma espécie sensível aos seus efeitos, promove mudanças no seu comportamento e possivelmente interfere no balanço de hormônios, em especial as giberelinas, que podem alterar as taxas de flores masculinas e femininas.

Para a mamoneira, embora existam vários estudos relacionando as respostas desta espécie às variáveis ambientais, na maioria deles as abordagens são pontuais. Assim, planejamentos de estudos que abordem, de forma mais ampla, aspectos básicos desta cultura, ainda necessitam ser realizados para se obter conhecimentos básicos cruciais ao seu manejo racional.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N.E. de M. Clima e solo. In: AZEVEDO, D.M.P. de; LIMA, E.F. (Ed.) **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa - Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. p.63-76.

AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F., **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa - Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001.

BELTRÃO, N.E. de M. et al. **O cultivo sustentável da mamona no semi-árido brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. (Circular técnica, 84).

BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C. Os múltiplos usos do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. In: **Fibras e Óleos**, Campina Grande, n. 31, p. 7, 1999.

BELTRÃO, N.E. de M. et al. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. (Ed.). **Agronegócio da mamona no Brasil**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007b. Cap.2, p.45-71.

BELTRÃO, N.E. de M. Coeficiente de migração, produtividade primária e sequestro de carbono pela mamoneira em regime de sequeiro no semi-árido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004b. CD-ROM.

BELTRÃO, N.E. de M. Estimativa da produtividade da cultura da mamona em função dos componentes da produção. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., Campina Grande, 2004. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004b. CD-ROM.

BELTRÃO, N.E. de M.; SILVA, L.C. Os múltiplos uso do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, n. 31, p. 7, 1999.

BELTRÃO, N.E. de M. **Torta de mamona (*Ricinus communis* L.): fertilizante e alimento**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. (Comunicado técnico, 171).

- BELTRÃO, N.E. de M. **Zoneamento e época de plantio da mamoneira para o Nordeste brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003.
- BELTRÃO, N.E. de M. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, Demóstenes Marcos Pedrosa de; BELTRÃO, N. E. de M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Algodão, 2007.
- BELTRÃO, N.E. de M.; SOUZA, J.G.; SANTOS, J.W. Fisiologia da mamoneira, cultivar brs 149 nordestina, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista Brasileira Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.7, n.1, p.659-664, 2003.
- BREIDENBACH, R.W.; WADE, N.; LYONS, J.L. Effect of chilling temperatures on the activities of glyoxysomal and mitochondrial enzymes from Castor Bean seedlings. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 54, p. 324-327, 1974.
- CARTAXO, W.V. **O cultivo da mamoneira no semi-árido brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. (Circular técnica, 77).
- CLOUGH, B.F.; MILTHORPE, F.L. Effect of water deficits on leaf development in tobacco. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.2, 291-300, 1975.
- DAI, Z.; EDWARDS, G.E.; KU, M.S.B. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *ricinus communis* L. (Castor Bean) by leaf to air vapor pressure deficit. **Plant Physiology**, Minneapolis, v.99, p. 1426-1434, 1992.
- HECKENBERGER, U.; ROGGATZ, U.; SCHURR, U. Effect of drought stress on the cytological status in *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.49, p. 181-189, 1998.
- KRAPP, A. et Regulation of the expression of *rccS* and other photosynthetic genes by carbohydrates: a mechanism for sink regulation of photosynthesis. **The Plant Journal**, Oxford, v.3, p. 817-28, 1993.
- KUMAR, L.S. DNA marker in plant improvement: an overview. **Biotechnology Advances**, New York, v. 17, p. 143-182, 1999.
- MAZZANI, B. **Euforbiaceas oleaginosas: Tártago**. In: MAZZANI, B. Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas. Caracas, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuárias, 1983. p. 277-360.
- MOSHKIN, V.A. Ecology. In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). **Castor**. New Delhi, Amerind, 1986a. p.54-64.
- MOSHKIN, V.A. Flowering and pollination. In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). **Castor**. New Delhi: Amerind, 1986b. p. 43-49.
- MOSHKIN, V.A. Growth and development of the plant. In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). **Castor**. New Delhi: Amerind, 1986c. p. 36-42.
- MOSHKIN, V.A.; PERESTOVA, T.A. Morphology and anatomy. In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). **Castor**. New Delhi: Amerind, 1986. p. 28-33.
- ORT, D.R., BAKER, N.R. Consideration of photosynthetic efficiency at low light as a major determinant of crop photosynthetic performance. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, v.26, p.555-65,1988.
- POPOVA, G.M.; MOSHKIN, V.A. Botanical classification. In: MOSHKIN, V.A. (Ed.). **Castor**. New Delhi: Amerinda. 1986. p.11-27.
- RIBEIRO FILHO, J. **Cultura da mamoneira**. Viçosa, MG: UFRV, 1966. 75p.
- SANTOS, R.F. et al. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. (Ed.). **Agronegócio da mamona no Brasil**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2007. Cap.1, p. 23-41.
- SAVY FILHO, A. **Mamona: tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105p.
- SCHULTZ, A.R. **Botânica sistemática**. Rio de Janeiro: Globo, 1963, v.2, 427 p.
- SEVERINO, L.S. et al. **Comportamento da mamoneira sob encharcamento do solo**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 14p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 57).
- SILK, W. Steady form from changing cells. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v.153, n.3, p. 49-58, 1992.
- TÁVORA, F.J.A.F. **A cultura da mamona**. Fortaleza: Epace, 1981.105p.
- VIDAL, W.N.; VIDAL, M.R.R. **Fitosistemática: famílias de angiospermas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. 59 p.
- WEISS, E.A. **Oilseed crops**. London: Longman, 1983. 660p.
- YAROSLAVSKAYA, P.N. Methods of growing castor. In: MOSHKIN, V.A. **Castor**. New Delhi: Amerind, 1986. p. 203-254.
- YEGAPPAN, T.M., PATTON, D.M. Water stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) effects on leaf cells and leaf area. **Annals of Botany**, London, v.49, p. 63-68, 1982.



# MILHO

Foto: A. Carlos Herrera





## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Fenologia

Em Agrometeorologia, a fenologia das plantas é indispensável em estudos e aplicações que envolvam as interações clima-planta, tais como zoneamentos agroclimáticos, calendários de semeadura e plantio, modelagem de cultivos, monitoramento de safras, avaliação de riscos climáticos, cultivos protegidos, irrigação, dentre outras. A fenologia das culturas é, igualmente, fundamental na avaliação de impactos da variabilidade climática, em escala espaço-temporal, ou de futuros cenários, à luz das relações clima-planta.

A caracterização dos eventos fenológicos permite identificar todo desenvolvimento das plantas, a fim de estabelecer relações com as condições do ambiente (meteorológicas, em particular), em diferentes anos, épocas ou locais. Com isso, torna-se possível avaliar e descrever, com precisão, o impacto de eventuais fenômenos adversos.

A determinação de períodos críticos é um aspecto particular na definição das necessidades e sensibilidades das espécies, visando reduzir danos por eventos climáticos extremos. Classificar genótipos, segundo a precocidade, também é fundamental e requer precisão na descrição fenológica. Com a duração do ciclo e seus períodos críticos, é possível planejar a implantação e o manejo de espécies, para diluir prejuízos por estresses climáticos e racionalizar atividades de manejo e condução das lavouras.

Outra importante aplicação da fenologia é a elaboração e a utilização de zoneamentos agroclimáticos, visando adequar as necessidades das plantas às disponibilidades do ambiente. Por fim, a escolha de genótipos, épocas, locais para cultivo e o manejo das espécies também exigem detalhes fenológicos, pois suas demandas variam durante o ciclo. Tudo isso permite o uso mais racional dos recursos naturais, da mão-de-obra e de insumos (Bergamaschi, 2007).

Ao final do Século XX, a escala de Ritchie et al. (1993) passou a ser adotada na descrição da fenologia do milho. Ela manteve grande parte dos critérios da escala de Hanway (1963), até então a escala mais utilizada. Porém, os estádios vegetativos passaram a ter maior detalhamento. A cada nova folha, totalmente expandida, corresponde um estágio vegetativo. Os símbolos que representam os estádios vegetativos são formados pela letra *V*, acrescida de um algarismo correspondente ao número de folhas totalmente expandidas. Os estádios reprodutivos são simbolizados pela letra *R*, à que se agrega um algarismo correspondente à seqüência dos mesmos estádios da escala de Hanway (1963).

Na Tabela 1, a seguir, é feita a descrição dos principais estádios fenológicos do milho, segundo a escala de Ritchie et al. (1993).

A temperatura é o principal elemento determinante da emergência das plântulas e da taxa de aparecimento de novas folhas. A temperatura do solo tem ainda grande influência sobre o ponto de crescimento, a emissão de novas folhas, o número de folhas e o tempo de emissão do pendão. Geadas, granizo e ventos podem danificar as folhas já formadas, mas têm pouco efeito sobre o ponto de crescimento e o rendimento final de grãos. Por outro lado, alagamentos podem matar a planta em poucos dias, principalmente quando combinados com elevadas temperaturas (Ritchie et al., 1993).

Em torno do estágio *V5*, todos os primórdios de folhas e espigas já se formaram e um pendão microscópico já se manifesta no ápice do caule, que ainda permanece debaixo ou ao nível do solo.

Em *V9* muitos primórdios de espigas já são visíveis por dissecação, em cada nó acima do solo, exceto nos 6 a 8 nós abaixo do pendão. Contudo, apenas um ou dois primórdios de espiga, localizados mais acima, se desenvolverão para serem colhidos. Em baixas densidades de semeadura, as plantas podem ser mais prolíferas, ou seja, podem produzir mais de uma espiga por colmo, dependendo do

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, bolsista CNPq. E-mail: homerobe@ufrgs.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, FEPAGRO/SCT-RS. E-mail: ronaldo-matzenauer@fepagro.rs.gov.br

genótipo. O caule tem rápido crescimento, por alongamento de internós, e o pendão também começa a se desenvolver rapidamente. Em torno de V10, o tempo de aparecimento de novas folhas é muito curto, da ordem de 2 a 3 dias. As plantas iniciam um rápido aumento de acúmulo de nutrientes e matéria seca, que continuará durante o período reprodutivo. A demanda por água e nutrientes aumenta na medida em que aumenta a taxa de crescimento (Ritchie et al., 1933).

Em VT ocorre a antese, quando os estames liberam o pólen, não sendo considerado um estágio. O pólen, ao se depositar sobre os estigmas, inicia o processo de fecundação dos óvulos. Começa, então, o período de formação dos grãos do milho, que dura cerca de 60 dias. O enchimento de grãos será o dreno preferencial das reservas e dos fotossintatos produzidos pela planta (Ritchie et al., 1933).

A seqüência de formação dos componentes do rendimento dos grãos é importante para entender as necessidades das plantas, a sensibilidade às condições ambientais e os períodos críticos frente à ocorrência de estresses.

O número de fileiras de grãos nas espigas é fortemente determinado pelo genótipo e não pelo ambiente. Porém, o número de grãos, que caracteriza o comprimento da espiga, é afetado por estresse ambiental, variando segundo as condições do meio (Nielsen, 2007b).

**Tabela 1. Estádios fenológicos de uma planta de milho, pela escala de Ritchie et al. (1993).**

Estádio	Marcador morfofisiológico e, ou, evento característico
Fase de desenvolvimento vegetativo	
VE	Emergência: Plântulas emergem do solo. É o primeiro estágio vegetativo.
V1	Quando uma folha já se acha completamente desenvolvida.
V2	Dois folhas desenvolvidas.
V3, V4, V5	Três, quatro e cinco folhas desenvolvidas. Ao redor do estágio V5, todos os primórdios de folhas e espigas já se formaram e um pendão microscópico já se exhibe no ápice do caule, que ainda permanece debaixo ou ao nível do solo.
V6	Seis folhas completamente desenvolvidas. O ponto de crescimento e o pendão já estão acima do nível do solo e o caule inicia um rápido alongamento
V(n)	"n" folhas desenvolvidas.
VT	Pendoamento: A inflorescência masculina (pendão) emerge da bainha da folha-bandeira. É o último estágio vegetativo.
Fase de desenvolvimento reprodutivo	
R1	Espigamento: Aparecimento da espiga e emergência dos estigmas, quase em sincronia com a antese (quando os estames liberam o pólen). Estigmas recebem pólen por até 10 dias.
R2	Grão em bolha: Após a secagem dos estigmas, começa o acúmulo de amido no endosperma. O embrião já tem os órgãos básicos formados. Os grãos têm cerca de 85% de umidade.
R3	Grão leitoso: A divisão de células do endosperma está praticamente completa. O grão cresce basicamente por expansão celular e acúmulo de amido. Os grãos contêm cerca de 80% de umidade.
R4	Grão pastoso: O acúmulo de amido continua no endosperma, cuja consistência é pastosa. O grão ainda cresce e tem sua extremidade arredondada. O conteúdo de umidade é da ordem de 70%.
R5	Grão dentado: No detalhe, a concavidade na forma de dente. A extremidade dos grãos é sólida e a base é pastosa. A umidade é de cerca de 55%.
R6	Maturação fisiológica: Grãos atingem o máximo peso de matéria seca. Forma-se uma camada escura na base, por descoloração das células placentárias. A umidade dos grãos está em torno de 30%, mas pode variar entre 25 a 40%.
-	Maturação de colheita: Não é propriamente um estágio fenológico. Ela é definida, muitas vezes, pelo conteúdo de umidade que permite a colheita, sem danos aos grãos ou perdas na colheita. A maturação de colheita é geralmente considerada quando a umidade dos grãos está em torno de 25%.

Em V12 começam a se definir o número de óvulos (grãos em potencial) e o tamanho das espigas, embora o número de fileiras de grãos por espiga já esteja definido em V5. Mas, o número final de grãos por fila estará completo somente uma semana antes do espigamento (em torno de V17). Neste período de formação de óvulos e espigas, estresse por água ou por nutrientes reduzem seriamente o número de grãos e o tamanho das espigas (Ritchie et al., 1933).

Segundo Nielsen (2007b), o tamanho potencial da espiga (número de óvulos) é determinado num longo período, que vai do estágio V5 até, provavelmente, o V15. Porém, a porcentagem de óvulos fertilizados, para início da formação de grãos, depende do sucesso ou falha na polinização (Nielsen, 2007a).

O número final de grãos, por espiga, é definido em uma ou duas semanas após a polinização, (Nielsen, 2005) e o peso é determinado ao longo do restante do período de “enchimento de grãos”, que termina na maturação fisiológica (Nielsen, 2007c).

A Figura 1, a seguir, ilustra as principais características do milho, de acordo com seu estágio fenológico.

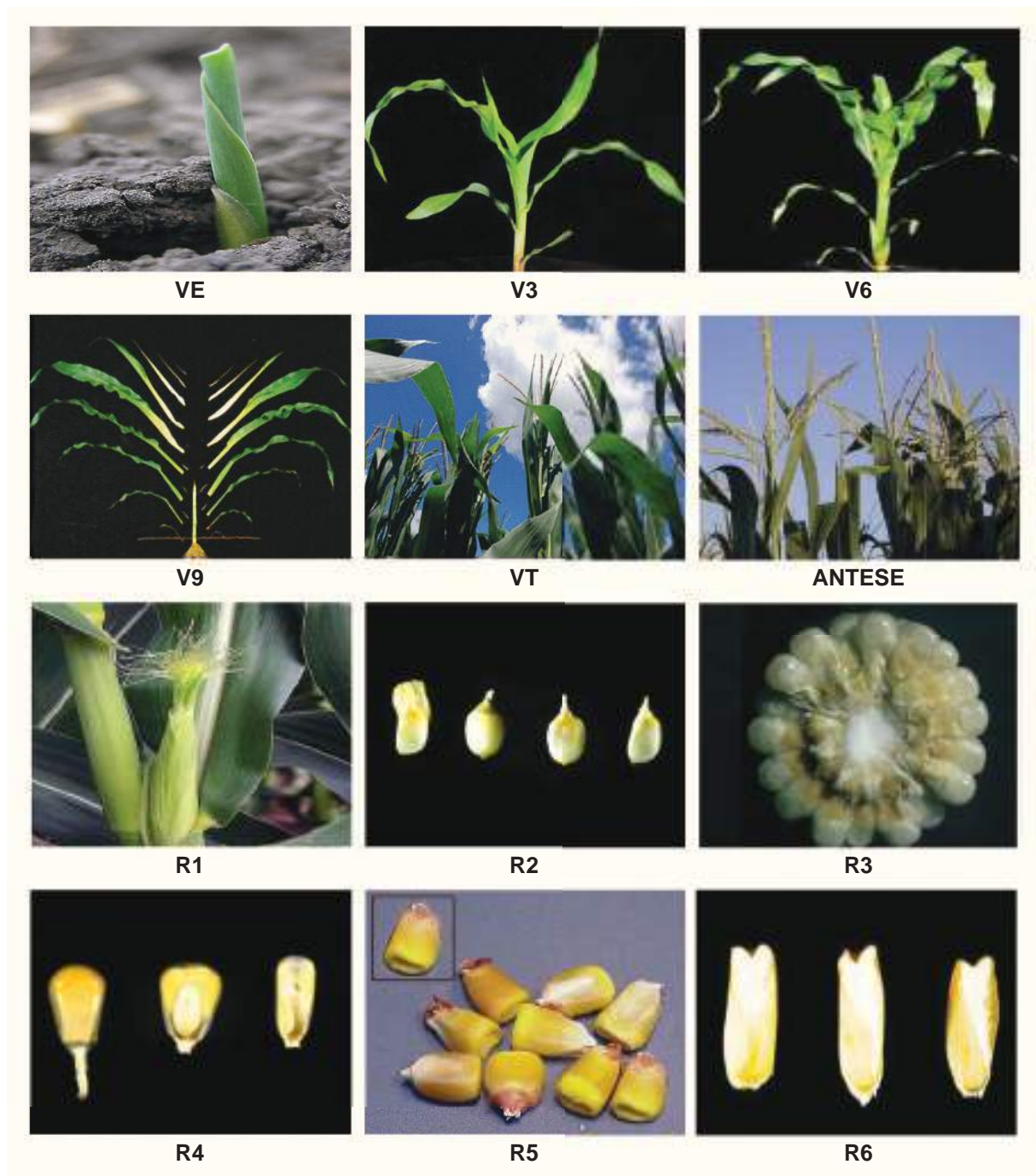


Figura 1. Principais características morfofisiológicas do milho, nos diferentes estádios fenológicos.



Grande redução no rendimento de grãos pode ser causada por estresse hídrico, especialmente quando ocorre entre duas semanas antes e duas semanas após o espigamento, estando a maior redução associada ao estresse no espigamento (R1). Tal fato é também verdadeiro diante de outros tipos de estresses ambientais, tais como nutricionais, por altas temperaturas ou por granizo. Por conseguinte, no uso da irrigação, o período de quatro semanas em torno do espigamento é o mais importante (Ritchie et al., 1933).

A polinização deficiente causa falhas na fecundação de óvulos e reduz o número de grãos por espiga, deixando parte do sabugo à mostra. Períodos prolongados de déficit hídrico, associados a altas temperaturas, podem retardar a emissão dos estigmas, impedindo a polinização (Nielsen, 2005).

Após a polinização, os grãos em início de formação, sobretudo na ponta da espiga, podem ser abortados por estresses severos, se houver forte redução no suprimento de fotossintatos. As causas podem ser déficit hídrico, altas temperaturas, baixa radiação solar ou redução drástica da área foliar. Noites quentes, na polinização ou no início de formação dos grãos, é outra causa provável de abortamento, por reduzir a quantidade de fotossintatos disponíveis por unidade de graus-dia acumulados (Nielsen, 2005).

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

O clima é o principal fator responsável pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas no Brasil. Diversas análises da produção agrícola apontam alta correlação entre variações de safras, das principais culturas, e as condições meteorológicas e climáticas. Em geral, as condições hídricas são as que mais afetam a produção das lavouras. No caso específico do milho, a produção brasileira teve elevadas reduções nas safras de 1995/96, 1996/97, 1998/99, 1999/00 e 2004/05, em consequência de estiagens.

A região Nordeste do Brasil, por secas prolongadas, e as regiões Sul e Sudeste, por estiagens freqüentes, têm grande variabilidade na produção agrícola. Em algumas regiões, a freqüência de anos secos é superior a 20%. Sendo sensível ao déficit hídrico, o milho é uma das culturas mais afetadas pela variabilidade do regime pluviométrico.

A produção de milho também pode ser afetada drasticamente por estiagens curtas, quando coincidentes com o período crítico da cultura. Contrariamente, os rendimentos de grãos podem ser elevados substancialmente pela melhoria do manejo das lavouras, sobretudo pela redução das limitações climáticas, significando dizer que o impacto das adversidades climáticas, em especial das estiagens, é intenso.

### 2.1 Disponibilidade Hídrica

A evapotranspiração máxima de uma cultura (ET<sub>m</sub>), em determinado local é função, basicamente, das condições meteorológicas durante o ciclo das plantas. Desconsiderando a água armazenada nas plantas, a ET<sub>m</sub> representa o consumo de água da cultura. Pode-se estimar as necessidades hídricas de uma cultura, em diferentes ambientes, através de relações entre sua ET<sub>m</sub> e um parâmetro de referência, podendo ser um elemento meteorológico ou a evapotranspiração de referência, ET<sub>o</sub>. As relações mais encontradas na bibliografia utilizam a evaporação do tanque classe A, a evapotranspiração de referência e a radiação solar global como parâmetros de referência.

Por definição, o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) é a razão entre a evapotranspiração máxima da cultura em estudo e a evapotranspiração de referência (DOORENBOS & PRUITT, 1975). Dentre as alternativas mais utilizadas para obter ET<sub>o</sub> estão o método combinado de Penman e seus derivados. Os boletins da FAO, elaborados por DOORENBOS & PRUITT (1975) e DOORENBOS & KASSAM (1979), publicaram extensa compilação de dados de coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>), para inúmeras espécies, que tem sido amplamente utilizada, sobretudo, no planejamento e manejo da irrigação na agricultura.

Neste texto, a razão entre a evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) e a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) será simbolizada por K<sub>c</sub>, podendo ser utilizada para estimar o consumo de água das culturas, na forma: ET<sub>m</sub> = K<sub>c</sub> . ET<sub>o</sub>

No início do ciclo de uma cultura, quando a cobertura do solo é incompleta, a relação  $ET_m/ET_o$ , isto é, o  $K_c$ , é baixo. Em cultivos em linha, a maior parte da água perdida nos estádios iniciais se dá basicamente pela evaporação na superfície do solo. Com o crescimento das plantas e da cobertura do solo, a evaporação da água do solo diminui, aumentando a transpiração e também a evapotranspiração. Quando o índice de área foliar (IAF) da cultura é máximo e a demanda evaporativa da atmosfera for elevada, a evapotranspiração da cultura também é máxima.

Na Tabela 2 são apresentados os valores totais e médios diários da evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_m$ ), para as três épocas de semeadura, obtidos por MATZENAUER et al (1998a), na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Para cada época, estes resultados são a média de vários anos, para uma população de 50 mil plantas por hectare. Para os 17 ambientes (anos x épocas), a média de  $ET_m$  foi de 561mm no total do ciclo e, de 4,3mm, por dia. Para fins de comparação, na compilação de dados feita por DOORENBOS & PRUITT (1975), são apresentados totais de evapotranspiração variando entre 400 e 700mm, para a cultura do milho.

Resultados levemente superiores de  $ET_m$  foram obtidos em Eldorado do Sul, RS, quando a densidade de semeadura foi aumentada para 67 mil plantas por hectare, para um híbrido precoce de milho (RADIN et al, 2003; BERGAMASCHI et al., 2001) (Tabela 3). Para quatro anos, a média da  $ET_m$  foi de 656mm no total do ciclo do milho. O consumo diário de água da cultura variou de 2,6 a 6,9 mm  $dia^{-1}$  (Tabela 2), com média de 5,1 mm  $dia^{-1}$ .

**Tabela 2. Evapotranspiração máxima ( $ET_m$ ), evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), calculada pelo método de Penman, e a razão  $ET_m/ET_o$  (coeficiente  $K_c$ ) em diferentes subperíodos, no ciclo total do milho. Valores médios diários (mm) para três épocas de semeadura. Fonte: MATZENAUER, et al. (1998b).**

Subperíodo*	Época de semeadura**								
	Setembro			Outubro			Novembro		
	$ET_m$	$ET_o$	$K_c$	$ET_m$	$ET_o$	$K_c$	$ET_m$	$ET_o$	$K_c$
S – E	1,7	4,3	0,40	2,1	5,3	0,40	2,8	6,0	0,47
E – 30d	2,7	4,9	0,55	3,1	5,7	0,54	4,3	6,1	0,70
30d – P	4,9	5,6	0,88	5,3	5,7	0,93	5,6	6,0	0,93
P – ML	5,7	5,9	0,97	6,6	6,3	1,05	5,1	5,3	0,96
ML – MF	4,0	5,7	0,70	4,3	5,5	0,78	3,6	4,9	0,73
S - MF	4,0	5,4	0,74	4,6	5,7	0,81	4,4	5,5	0,8

\* S - semeadura; E - emergência; 30d - 30dias após a emergência; P - 50% do pendoamento; ML - maturação leitosa; MF - maturação fisiológica. \*\* Valores médios do período: época de setembro-1982/83 a 1988/89; época de outubro-1976/77 a 1981/82; época de novembro-1983/84 a 1987/88

**Tabela 3. Evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>), evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), calculada pelo método de Penman, e coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) em decêndios após a emergência milho, média de quatro anos, em Eldorado do Sul, RS. Fonte: RADIN et al. (2003).**

Decêndios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET <sub>m</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )	2,6	3,5	4,0	5,8	6,9	6,9	6,2	6,2	5,4	5,0	4,5	4,5
ET <sub>o</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )	5,1	4,4	4,5	5,2	5,6	5,4	4,8	4,9	4,0	3,8	3,7	4,0
K <sub>c</sub> (ET <sub>m</sub> /ET <sub>o</sub> )	0,5	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,2	1,1

Resguardadas as diferenças entre os genótipos, para um aumento de 33% na população de plantas, houve um aumento de apenas 17% na demanda hídrica total do ciclo e, de 19%, na demanda média diária. Embora a radiação solar seja a principal causa da evapotranspiração, acréscimos na população de plantas acima de determinados níveis não conduzem a aumentos proporcionais no consumo de água das lavouras, pois a radiação interceptada não aumenta linearmente com índice de área foliar. Há uma tendência de estabilidade na eficiência de interceptação de radiação solar com a elevação do IAF, o que explica a redução nos acréscimos de ET<sub>m</sub> em altas populações de plantas.

O milho está entre as culturas de maior consumo diário de água, considerando o K<sub>c</sub> como parâmetro de comparação. A Tabela 2 também mostra os dados médios da razão (K<sub>c</sub>) entre a evapotranspiração máxima do milho (ET<sub>m</sub>) e a evapotranspiração calculada pelo método de Penman (ET<sub>o</sub>). Sendo função direta do IAF, o coeficiente K<sub>c</sub> aumenta rapidamente no período de crescimento da cultura, atingindo seu valor máximo próximo ao pendoamento e decresce lentamente durante o período reprodutivo, com a senescência das folhas inferiores. Durante a maturação, com a senescência rápida das folhas, a transpiração das plantas e, portanto, o K<sub>c</sub>, diminuem de forma brusca (Figura 2).

Os coeficientes K<sub>c</sub> apresentados na Tabela 3 são superiores àqueles da Tabela 2, obtidos por MATZENAUER et al. (1998b). A diferença pode ser atribuída ao aumento da população de plantas de 50 para 67 mil por hectares, que também elevou a ET<sub>m</sub> total do ciclo e da média diária, na mesma região climática. Em ambos os conjuntos, os resultados foram obtidos através de medições em lisímetros, na mesma região climática (subtropical) do Rio Grande do Sul. A diferença básica foi o aumento na população de plantas, seguindo recomendações dos órgãos de pesquisa.

É importante considerar que, para a obtenção dos coeficientes K<sub>c</sub> relatados, foi empregada a evapotranspiração de referência calculada pelo método original de Penman. Há uma tendência universal de preferência por ET<sub>o</sub> calculada pelo Penman-Monteith, atendendo recomendação da FAO (ALLEN et al., 1998). Esta adaptação ao método original de Penman introduz nova parametrização que altera os resultados finais. TESSARI et al. (2008) compararam dados de ET<sub>o</sub> calculados por ambos os métodos, com médias diárias e mensais de sete anos, em região subtropical do Rio Grande do Sul. A evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith é 8% mais baixa que a ET<sub>o</sub> estimada pelo método original de Penman. Isso significa que os coeficientes K<sub>c</sub>, que derivam da relação ET<sub>m</sub>/ET<sub>o</sub> calculados segundo Penman-Monteith, devem ser 8% superiores aos coeficientes apresentados neste texto, que consideram ET<sub>o</sub> segundo o método original de Penman.

A Figura 2 representa o padrão de variação da evapotranspiração diária em função do índice de área foliar ao longo do ciclo do milho, obtida em região subtropical do Rio Grande do Sul (RADIN et al., 2003). Observa-se que, para um mesmo IAF, houve maior consumo de água durante o crescimento vegetativo que no enchimento de grãos. Essa diferença se deve à maior demanda evaporativa atmosférica na primeira metade do ciclo (próximo ao solstício de verão) que no período reprodutivo, que ocorreu na segunda metade do verão. Uma causa secundária para tal diferença é a própria redução da atividade fisiológica da cultura ao longo do ciclo. Portanto, ET<sub>m</sub> pode apresentar grandes diferenças em função das condições atmosféricas, mesmo que o padrão de manejo das lavouras seja semelhante. Isso reforça a importância de normalizar os dados de consumo de água da cultura pelo uso de parâmetros que expressem a demanda evaporativa atmosférica, através de coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>).

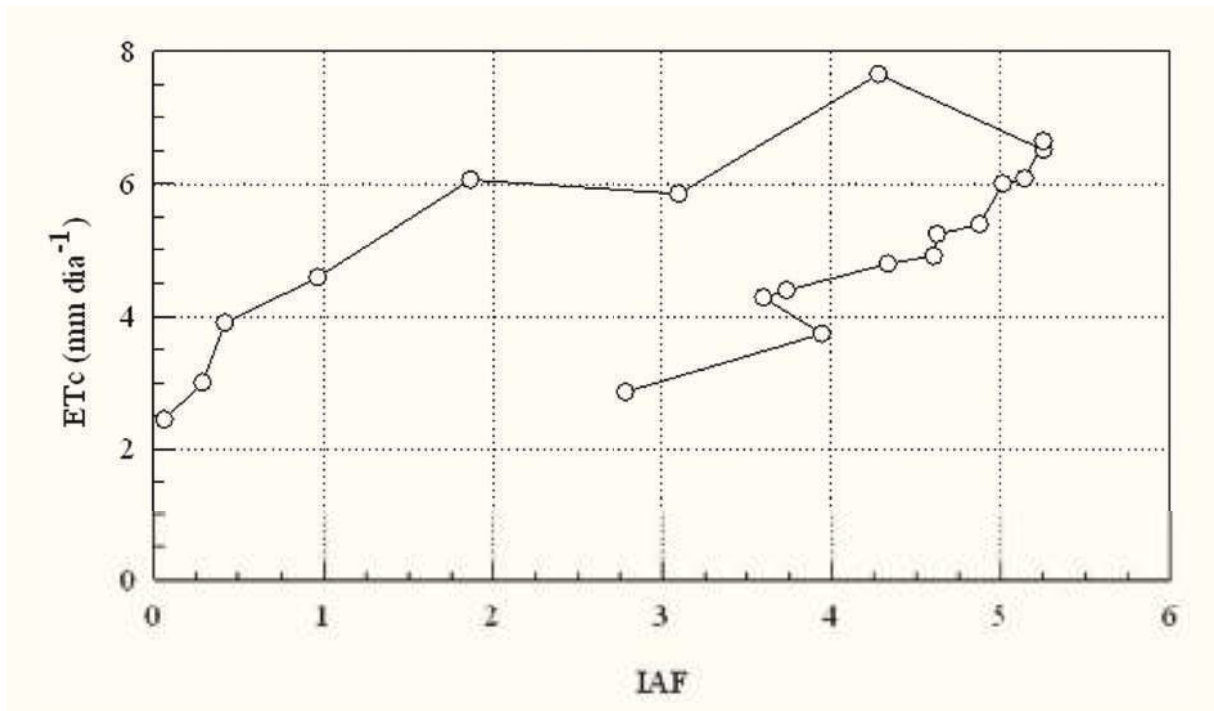


Figura 2. Evapotranspiração da cultura (Etc) e índice de área foliar (IAF) ao longo do ciclo do milho, média de quatro anos, Eldorado do Sul/RS. Fonte: RADIN et al. (2003).

### Produtividade e déficit hídrico

Com adequada disponibilidade hídrica e alta demanda evaporativa da atmosfera, a taxa de transpiração é elevada. Porém, se a planta não consegue absorver água suficiente para repor as perdas por transpiração, ou seja, quando há desequilíbrio entre transpiração e absorção, o potencial da água na planta começa a diminuir, iniciando o déficit hídrico, podendo ou não causar estresse à planta, dependendo da intensidade do déficit. Portanto, o déficit hídrico na planta é um fenômeno quase diário, que pode ocorrer mesmo em condições de alta disponibilidade de água no solo. Durante o dia, a planta perde mais água do que consegue absorver até, aproximadamente, o meio da tarde. Em seguida, com a diminuição da demanda evaporativa atmosférica, a planta absorve mais água que a perda por transpiração, iniciando a recuperação do déficit, até que ocorra o equilíbrio dos potenciais durante a noite. Se não houver reposição de água no solo pela precipitação pluvial ou por irrigação, o estresse se tornará irreversível. Este processo depende da demanda evaporativa da atmosfera, da capacidade de armazenagem de água no solo, das características da cultura e do estágio de desenvolvimento da planta.

O déficit hídrico afeta, praticamente, todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e interferindo em vários outros processos, além de alterar o ambiente físico das culturas, por modificar o balanço de energia do sistema (BERGAMASCHI, 1992). Os efeitos causados pelo déficit hídrico são devidos às modificações na anatomia, morfologia, fisiologia e bioquímica das plantas. Com a redução na taxa de evapotranspiração, parte da energia que seria consumida neste processo será utilizada em outros processos, como no aquecimento do solo, no aquecimento do ar e no sistema como um todo, diminuindo a umidade relativa. Assim, em uma cultura submetida a déficit hídrico, haverá maior demanda evaporativa do ar junto às plantas, conduzindo-as a estresse mais rápido e intenso.

FRANÇA et al. (1999) observaram que o déficit hídrico afetou negativamente o índice de área foliar e o acúmulo de matéria seca nas plantas de milho. Como a eficiência de interceptação de radiação depende do índice de área foliar, em períodos de estiagens, sob condições de estresse, a captura da radiação solar incidente é reduzida pela diminuição da área foliar e pela murcha das folhas. Este efeito do déficit hídrico sobre a área foliar é de caráter permanente sendo que, no caso de espécies de hábito

de crescimento determinado, não há possibilidade de compensação pelo aumento do número de folhas.

Com dados obtidos em 27 condições hídricas variáveis, BERGAMASCHI et al. (2006) ajustaram modelos de regressão, relacionando o rendimento de grãos do milho com o déficit hídrico e com a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima ( $E_{Tr}/E_{Tm}$ ), para o Rio Grande do Sul. Verificaram que a maior redução na produção ocorreu em consequência do déficit hídrico durante os períodos que englobam a polinização, a formação do zigoto e o desenvolvimento inicial do grão, numa relação quadrática. Para este intervalo do ciclo, a razão  $E_{Tr}/E_{Tm}$  explicou quase 80% das variações na produção de grãos, que se estabilizou para valores da razão acima de 0,7. O estudo abrangeu 10 anos de experimentação de campo, demonstrando que a irrigação aumenta e estabiliza a produção do milho naquele Estado. Por outro lado, os resultados mostraram que a maior eficiência de uso da irrigação em milho, corresponde a doses de rega em torno de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo.

MATZENAUER e FONTANA (1987) estudaram, através da análise de regressão, a relação entre o rendimento de grãos de milho e a altura da chuva, em diferentes períodos do ciclo, para o Rio Grande do Sul. Os períodos em que as variáveis apresentaram melhor ajuste foram do pendoamento até 30 dias após e, de uma semana antes do pendoamento a uma semana após o final do espigamento, com coeficientes de determinação de 0,785 e 0,763, respectivamente. A associação entre essas variáveis foi muito significativa nos períodos de 30 dias após a emergência ao pendoamento, do pendoamento à maturação fisiológica, e no ciclo completo (emergência à maturação fisiológica). Os autores concluíram que a chuva exerce grande influência no rendimento de grãos de milho, principalmente durante a floração e enchimento de grãos.

Considerando uma série de 10 anos consecutivos de dados experimentais, a Figura 3 demonstra a variabilidade nos rendimentos de grãos do milho entre os anos, na região subtropical do Rio Grande do Sul. Considerando a média entre os rendimentos, com e sem irrigação, pode-se verificar que há uma perda de mais de 40% no rendimento médio. O rendimento médio sem irrigação, porém, sem limitação de outros fatores, foi de 6.000 Kg ha<sup>-1</sup>. Esta média pode ser considerada razoável, porém a grande variabilidade demonstra o grande risco que as condições pluviométricas da região impõem aos agricultores. No mesmo trabalho, BERGAMASCHI et al. (2004b) demonstraram que o uso da irrigação em milho é economicamente vantajoso na Depressão Central do Rio Grande do Sul, comprovando as limitações apontadas pelo zoneamento climático da cultura.

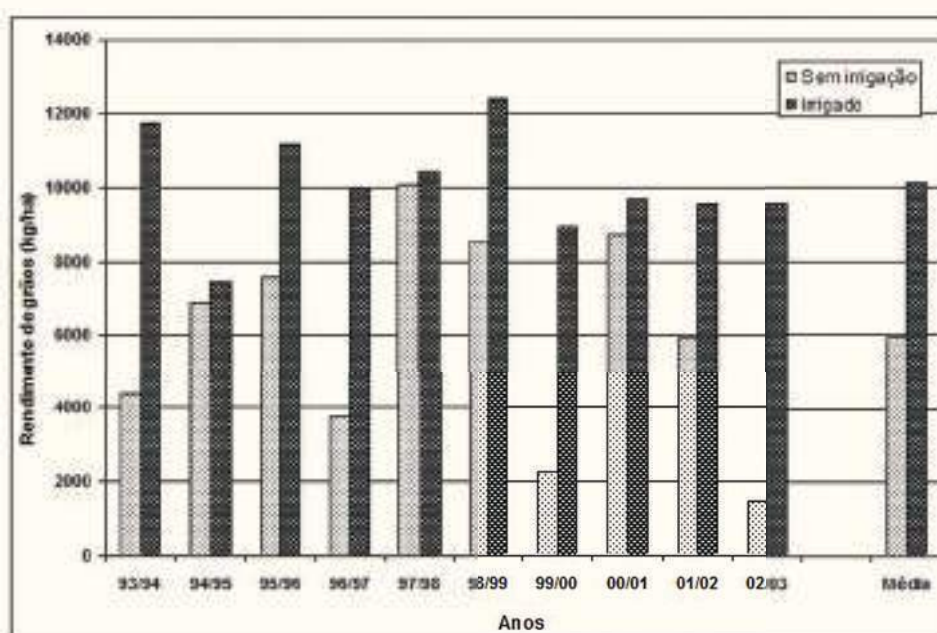


Figura 3. Rendimento de grãos de milho, com e sem irrigação, numa seqüência de 10 anos de experimentos de campo e na média do período, na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Fonte: BERGAMASCHI et al. (2004b).

## 2.2 Temperatura

A temperatura do ar é um dos principais fatores determinantes da fenologia das plantas, exercendo papel fundamental na distribuição espaço-temporal das espécies. A interação das condições térmicas com a duração dos dias (fotoperíodo) também é importante para inúmeras espécies cultivadas.

No milho, o início do período reprodutivo se dá quando o meristema apical começa a se alongar e inicia o primórdio das flores do pendão (masculinas). Como nenhuma folha poderá formar-se após a diferenciação do meristema apical, a iniciação do primórdio floral determina o número máximo de folhas, nós e internós de cada colmo e, portanto, o tempo relativo entre a emergência e o final do período vegetativo. O número de nós formados antes da iniciação do pendão, portanto, o número de folhas, depende do genótipo, mas é modificado pela temperatura e pelo fotoperíodo (Duncan, 1976).

Sabe-se, porém, que a fenologia do milho é regulada basicamente pelo regime térmico, o que permite o emprego de modelos de crescimento baseados na temperatura do ar, utilizando-se a metodologia da soma térmica. Inúmeros trabalhos demonstraram que os genótipos de milho, cultivados nas diferentes regiões do Brasil, possuem variabilidades na quantidade de energia necessária para cumprir as etapas fenológicas e o próprio ciclo. Assim sendo, para fins práticos e, embora possa haver influências do fotoperíodo, o milho tem sido considerado uma espécie sem resposta ou de fraca resposta fotoperiódica. Portanto, o desenvolvimento da planta do milho depende, basicamente, das condições térmicas.

O uso da soma de graus-dia, baseado no acúmulo energético acima de determinada temperatura-base, é abrangente em modelos que descrevem o desenvolvimento fenológico e o crescimento do milho. Dentro de um mesmo grupo de maturação, é possível estimar a ocorrência de fases da cultura, para diferentes genótipos, regiões e épocas de cultivo, utilizando a temperatura do ar como única variável. Embora a radiação solar e a água possam também influenciar a fenologia do milho, a soma de graus-dia (temperatura do ar, portanto) tem relação linear com o desenvolvimento das plantas (Coelho & Dale, 1980). A interação com outros fatores, como água, nitrogênio e o próprio fotoperíodo, pode provocar pequenas margens de erro, sob diferentes ambientes, mas o somatório de graus-dia tem sido um adequado parâmetro para estimar eventos fenológicos de milho.

As condições térmicas influenciam os mais diversos processos vitais das plantas, desde germinação e emergência, pela temperatura do solo, ao desenvolvimento fenológico e ao crescimento da planta como um todo, por ambas as temperaturas do solo e do ar. Durante o período de crescimento vegetativo, o tempo térmico decorrido entre o aparecimento de duas folhas sucessivas é denominado “filocrono”. Este índice permite estimar a duração do período vegetativo das plantas e, portanto, a época de florescimento em função da temperatura do ar. No Estado de São Paulo, Tojo Soler et al. (2005) determinaram o filocrono de diversos híbridos de milho, considerando duas temperaturas-base, 8°C e 10°C. Verificaram que o aparecimento de cada folha exigiu cerca de 50 graus-dia até a décima segunda folha, diminuindo em seguida. Isso demonstra que é possível fazer uma simulação precisa da fenologia do milho e da evolução do índice de área foliar, no período vegetativo, a partir do tempo térmico, o que se justifica pela influência direta da temperatura no metabolismo das plantas e à alta correlação entre o número final de folhas e a duração do período vegetativo.

A lei de Van't Hoff, aplicada ao crescimento vegetal, sugere que a velocidade dos processos metabólicos duplica a cada 10°C de aumento da temperatura. Porém, não é correto considerar que as plantas mantenham este padrão de resposta indefinidamente. Assim, o efeito da elevação da temperatura sobre o metabolismo das plantas não se expressa através de uma função linear contínua. Alguns estudos verificaram que modelos não lineares têm melhor desempenho em simular a fenologia do milho, tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo (Bonhomme, 2000; Guissem et al., 2001; Streck et al., 2008).

O método de graus-dia, aplicado ao milho, apresenta limitações, como o efeito diferenciado da temperatura do ar ao longo do ciclo da cultura e as diferentes necessidades térmicas entre genótipos, sobretudo de temperaturas-base (Didonet et al., 2008a; Didonet et al., 2008b). Entretanto, mesmo admitindo as imperfeições do método e os possíveis efeitos das condições hídricas e do fotoperíodo, modelos lineares, associando a fenologia do milho ao acúmulo de graus-dia, têm sido amplamente testados e utilizados no Brasil (Berlato et al., 1984; Lozada & Angelocci, 1999; Gadioli et al., 2000; Tojo Soler et al., 2005).

O cálculo do acúmulo de graus-dia toma por base os limites térmicos de cada espécie ou genótipo, que são as chamadas temperaturas-base, inferior ( $T_b$ ) e superior ( $T_B$ ). Rigorosamente, o conceito de graus-dia deveria considerar ambos os limites térmicos, desprezando os períodos em que a temperatura estiver abaixo de  $T_b$  ou acima de  $T_B$ . Entretanto, na grande maioria dos trabalhos e modelos, o cálculo do tempo térmico leva em consideração somente o limite inferior ( $T_b$ ), efetuando a soma de “temperaturas efetivas” (como alguns autores preferem), ou seja, a diferença entre a temperatura-base inferior e a temperatura média diária.

As temperaturas cardeais ótimas (base inferior e base superior) são mais elevadas em plantas de clima quente que nas de clima frio. Dentro de uma mesma espécie, as cultivares precoces têm suas temperaturas cardeais mais baixas que as cultivares tardias. Essa diferença de resposta, adquirida através do melhoramento genético, permite que o milho seja cultivado em regiões de climas tão diferenciados. Tornou-se também viável cultivar milho em regiões antes consideradas inaptas por insuficiência térmica, como em planaltos das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Do mesmo modo, o surgimento de genótipos mais precoces tornou possível a antecipação de épocas de cultivo no Sul do Brasil, assim como o cultivo em safrinha, no final do verão e início de outono, sob temperaturas relativamente baixas.

Nas estimativas do acúmulo de graus-dia, é importante considerar as diferenças nas temperaturas cardeais entre os grupos de maturação. Diversos autores obtiveram melhores estimativas fazendo variar esses índices, de acordo com o tipo de genótipo. Berlato e Sutili (1976) obtiveram, como melhores temperaturas, mínimas basais de 4°C para híbridos precoces, de 6°C para os de ciclo médio e, de 8°C, para tardios, segundo a classificação adotada à época. Porém, Kiniry (1991) considerou, como limites extremos para a fenologia do milho, 8°C e 44°C, sendo que o crescimento máximo ocorre entre 26 e 34°C. Para diversos genótipos da Austrália, Birch et al. (1998) adotaram as seguintes temperaturas cardeais para cálculo de graus-dia:  $T_b = 8^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{ótima}} = 30^\circ\text{C}$  e  $T_B = 40^\circ\text{C}$ .

A classificação pela precocidade de genótipos, através de denominações do tipo precoce, superprecoce, tardio, etc., é imprecisa para uso em grande escala. Ela depende de características genéticas, porém as interações genótipo-ambiente se alteram sempre que as condições do meio se modificam. Portanto, ela é relativa às condições do ambiente e, no caso particular do milho, as condições térmicas são aquelas que mais influenciam a duração das etapas fenológicas. Por este motivo, o ciclo de cada genótipo deveria ser caracterizado segundo suas necessidades de graus-dia, mas isto nem sempre ocorre. Em muitos casos, recebem classificação de precocidade na própria origem (superprecoce, precoce, normal, etc.), sem a devida comprovação experimental. Além disso, em geral, há grande demanda por híbridos mais precoces, para semeaduras antecipadas no final do inverno, em safrinha de fim de verão-outono ou para expansão de áreas em regiões de maior altitude. No sul do Brasil, o cultivo em safrinha teve incremento, nas últimas décadas, em função da antecipação do cultivo na primavera ou para lavouras de milho em sucessão ao feijão de primavera, ou de fumo.

Visando estabelecer critérios para caracterizar genótipos de milho, segundo grupos de precocidade, Facelli & Dourado Neto (1997), citados por Gadioli et al. (2000), descreveram híbridos tardios que necessitam acima de 900 graus-dia para o florescimento, precoces que necessitam mais de 831 e menos de 890 graus-dia, enquanto superprecoces necessitam menos de 830 graus-dia. Este procedimento é necessário, mas sua implantação, em escala operacional, necessita critérios científicos claros, além de suporte em pesquisas de campo.

Como a temperatura atua diretamente no metabolismo básico das plantas, seu efeito se reflete amplamente sobre a evolução de uma cultura no campo. Assim, o acúmulo de graus-dia também pode ser empregado como parâmetro para estimar o crescimento do índice de área foliar (IAF), como demonstra a Figura 4. Baseado no modelo segmentado de Brisson et al. (1990), Müller et al. (2005) observaram que o crescimento do IAF do milho é linear entre o estágio de quatro folhas expandidas e o final da expansão da folha bandeira, que corresponde à antese. No Rio Grande do Sul, um híbrido classificado como precoce necessitou de, aproximadamente, 900 graus-dia (acima de 8°C) para atingir o máximo IAF, a partir da emergência das plantas. A partir do IAF máximo, inicia-se uma lenta senescência de folhas até próximo à maturação fisiológica, com cerca de 1800 graus-dia após a emergência.

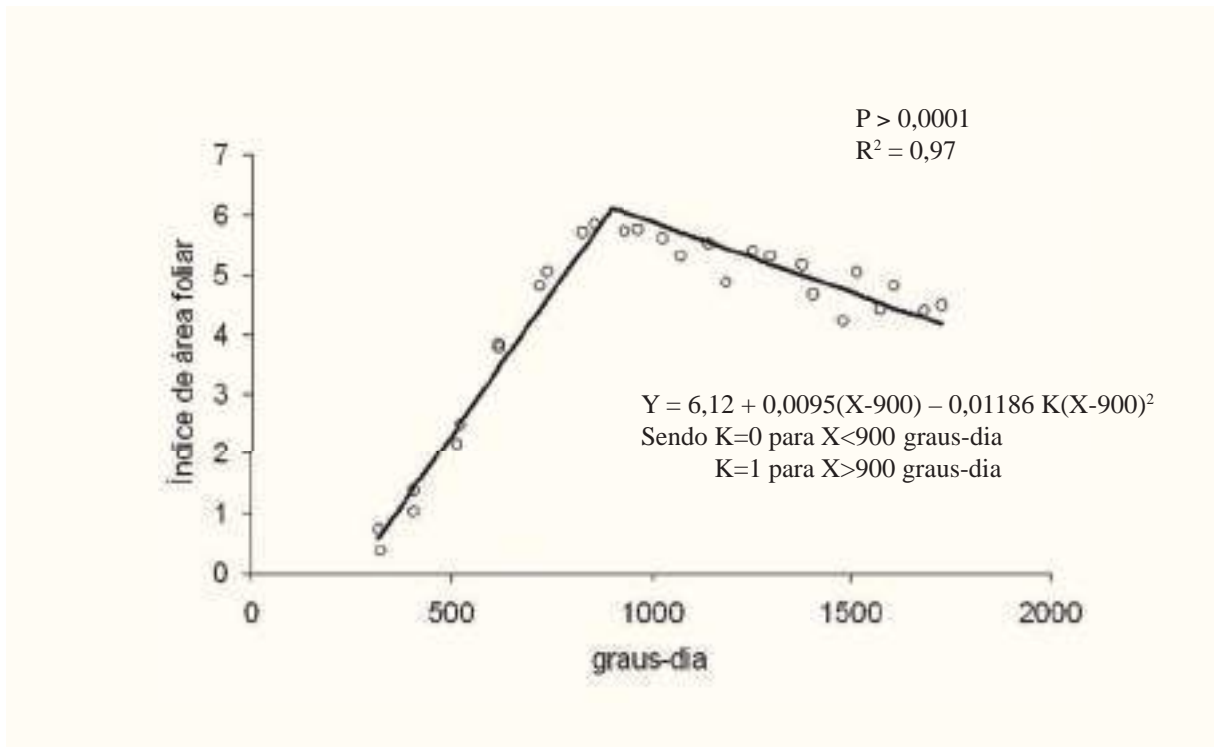


Figura 4. Índice de área foliar de um híbrido precoce de milho, em função de graus-dia acumulados após a emergência das plantas, na média de três anos. Eldorado do Sul, RS. Fonte: Müller et al. (2005).

A possibilidade de estabelecer modelos de crescimento do IAF a partir de uma única variável, de fácil obtenção, como é a temperatura do ar, permite cumprir o primeiro passo importante da modelagem do crescimento e da formação do rendimento do milho. Uma vez calculado o IAF, é possível estimar a produção de biomassa da cultura em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel e, com o índice de colheita, projetar o rendimento potencial de grãos (França, 1997; Müller & Bergamaschi, 2005).

#### Limitações térmicas para milho no Brasil

No Brasil, as limitações por baixas temperaturas podem ocorrer nas regiões mais frias e nas lavouras semeadas em épocas extremas, nas regiões Sul e Sudeste. O ingresso de massas polares e ocorrência de geadas, sobretudo no final de inverno e início de primavera, é um risco provável e o zoneamento da cultura deve ser observado. Por outro lado, enquanto o ponto de crescimento das plantas estiver abaixo do solo (até em torno de  $V_3$ ), geadas, granizo e vendavais têm pequeno ou nenhum efeito sobre o rendimento final da lavoura. Contudo, uma inundação pode causar danos irreversíveis, pela morte das plantas. Em  $V_6$ , as geadas serão mais danosas, assim como o granizo e os vendavais, pois as plantas têm seu ponto de crescimento acima do nível do solo (Ritchie et al., 1993).

Limitações por altas temperaturas são mais complexas e de difícil detecção, sobretudo quando estão associadas a déficit hídrico durante estiagens, com elevada demanda evaporativa atmosférica. O déficit hídrico em milho leva ao enrolamento de folhas e ao fechamento de estômatos. A redução no fluxo transpiratório modifica o balanço energético das folhas e pode causar acúmulo de calor, com elevação da temperatura dos tecidos. Os danos podem ser parciais e reversíveis, mas podem levar à senescência e morte de grande parte da área foliar. Durante o florescimento, a combinação de déficit hídrico e altas temperaturas diurnas afetam a polinização e a formação inicial dos grãos, resultando em diminuição do número de grãos por espiga. Noites quentes, durante este estágio, também podem reduzir o número de grãos, afetando a sobrevivência e o desenvolvimento inicial dos grãos (Ritchie et al., 1993; Nielsen et al., 2005).

Em temperaturas elevadas, as plantas  $C_4$  apresentam taxa fotossintética maior que as espécies  $C_3$ . Isto se explica, pois temperaturas elevadas afetam menos a fotossíntese de espécies como o milho,



que tem metabolismo fotossintético  $C_4$  e não apresentam fotorrespiração, que tende a aumentar, com elevadas temperaturas, em plantas com metabolismo  $C_3$ . Por outro lado, altas temperaturas, sobretudo durante a noite, podem reduzir a assimilação líquida das plantas, devido ao aumento das perdas por respiração. Em regiões com verões quentes, é freqüente a redução do rendimento de grãos de milho em épocas tardias, devido a elevadas temperaturas. Trabalhando com diversos híbridos, Gadioli et al. (2000) obtiveram maiores rendimentos de grãos em sementeiras de primavera e menores rendimentos em épocas posteriores, numa relação inversa entre produção de grãos e temperatura do ar. Brunini et al. (2006) também observaram que temperaturas noturnas elevadas podem prejudicar o desenvolvimento da cultura, embora a escolha de épocas apropriadas possa evitar tais condições, inclusive mitigando estresses térmicos no período diurno, durante o florescimento.

Avaliando as prováveis limitações do milho no Estado de São Paulo, Brunini et al. (2006) observaram que, em algumas situações, temperaturas noturnas elevadas podem comprometer o rendimento de grãos do milho. Segundo os autores, mesmo em locais de média latitude, os riscos de altas temperaturas no florescimento ou na formação de espigas podem comprometer a viabilidade de formação de espigas e de grãos e, portanto, reduzir a produtividade. Por outro lado, o uso combinado de sistemas de informações geográficas com técnicas com embasamento agrometeorológico, pode mitigar o estresse ambiental na cultura do milho.

Cenários de mudanças climáticas se caracterizam, sobretudo, por elevação das temperaturas noturnas. Sendo assim, é provável que haja impactos negativos sobre o potencial produtivo do milho, pelo que foi exposto anteriormente. Por outro lado, embora não exista uma projeção segura quanto à ocorrência de geadas, a expansão do cultivo do milho para regiões mais frias e a ampliação do calendário de cultivo, nas zonas de produção, são bastante prováveis. O encurtamento do ciclo, devido ao incremento no acúmulo de graus-dia, também deverá ser considerado, em particular nos programas de melhoramento genético. Em resumo, a interação genótipo-ambiente deve ser continuamente revisada no sentido de adequar a cultura aos novos cenários de produção.

### 2.3 Radiação Solar

O milho é uma espécie com metabolismo fotossintético  $C_4$ , caracterizado por um mecanismo de concentração de  $CO_2$  no sítio ativo da Ribulose-bifosfato-carboxilase-oxigenase (Rubisco) do Ciclo de Calvin e Benson, que mantém alta razão  $CO_2/O_2$  e elimina a fotorrespiração (Ehleringer et al., 1997). Este mecanismo de concentração se deve à ação da fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) no citoplasma do mesofilo, que possui um  $K_m$  de  $5 \mu\text{mol}$  para o  $CO_2$ , indicando alta afinidade por este gás. Inicialmente, o  $CO_2$  atmosférico é fixado pela PEPcase, formando o ácido oxaloacético. Em seguida, este produto de quatro átomos de carbono é transportado para as células da bainha vascular, onde é descarboxilado. Daí, o  $CO_2$  é refixado pela Rubisco, que tem baixa afinidade pelo  $CO_2$  ( $K_m$  de 20 a  $30 \mu\text{mol}$ ). Essa descarboxilação produz alta concentração de  $CO_2$  e a Rubisco opera próximo à sua taxa máxima (saturação de  $CO_2$ ), suprimindo sua atividade de oxigenase e eliminando a fotorrespiração (Bergonci & Bergamaschi, 2002).

Dos três subgrupos de plantas  $C_4$ , classificados de acordo com a enzima descarboxilativa, o milho pertence àquele que apresenta a maior eficiência de uso da radiação solar ou eficiência quântica, com valor médio de  $64,5$  a  $69 \mu\text{mol mol}^{-1}$ , enquanto outras  $C_4$  apresentam valores em torno de  $52,6$  a  $60,4 \mu\text{mol mol}^{-1}$ . Esta maior eficiência é atribuída à anatomia das plantas que possuem tal mecanismo, ou seja: menor área entre as nervuras e lamela suberizada, que previne a perda de  $CO_2$  para o meio (Hattersley, 1984). Várias respostas do milho aos fatores do ambiente decorrem de seu mecanismo fotossintético  $C_4$ , que resultam em alta produtividade e, em consequência, alto rendimento de grãos, superando outras espécies cultivadas. Esses conceitos são fundamentais, sobretudo quanto às interações entre a planta e o ambiente físico, com ênfase na radiação solar, no  $CO_2$ , na temperatura, na água e no nitrogênio (Bergonci & Bergamaschi, 2002).

Em milho, sem restrição hídrica, o aumento fotossintético é linear até cerca de  $500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  de RFA incidente. Acima deste nível, diminui o incremento na condutância, com tendência de saturação a partir de, aproximadamente,  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . A partir deste ponto, não há mais resposta de abertura estomática ao aumento de RFA incidente. Em plantas, sob déficit hídrico severo, a função é crescente somente até 500

$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , com variação próxima de zero a partir deste nível de radiação. Situações intermediárias são observadas em plantas sob condições de déficit hídrico mediano (Bergonci & Bergamaschi, 2002).

Devido à anatomia e fisiologia das plantas  $C_4$ , suas respostas à concentração de  $\text{CO}_2$  demonstram que as mesmas apresentam ponto de compensação de  $\text{CO}_2$  entre 0 e  $5\mu\text{mol}$ , que não é afetado pela concentração de oxigênio, diferentemente das plantas  $C_3$ , cujo ponto de compensação varia de 40 a  $50\mu\text{mol}$ . Decorrente do mecanismo de concentração de  $\text{CO}_2$ , nos níveis atuais de dióxido de carbono existente na troposfera ( $350\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), as plantas  $C_4$  se encontram saturadas. Sendo assim, a eventual elevação dos níveis de  $\text{CO}_2$  na atmosfera não deverá favorecer as plantas com metabolismo  $C_4$ , como é o caso do milho (Bergonci & Bergamaschi, 2002).

### Interceptação da radiação solar na cultura do milho

A eficiência de interceptação de um dossel vegetal corresponde à sua capacidade de interceptar a radiação solar incidente, constituindo-se no principal fator que influencia a fotossíntese e a transpiração (Thorpe, 1978). Porém, nem toda radiação solar interceptada é absorvida pelo dossel. Para o milho, Gallo & Daughtry (1986) observaram que as diferenças entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada e a absorvida são menores que 3,5%. No Brasil, Müller & Bergamaschi (2005) observaram que 92% da radiação interceptada pelo milho são absorvidos pelo dossel. Este coeficiente está dentro da faixa estimada por VARLET-GRANCHER (1989), segundo o qual menos de 10 % da RFAint não são absorvidos pelo dossel.

A eficiência de interceptação de radiação solar aumenta, rapidamente, no início do ciclo do milho, devido ao aumento no índice de área foliar (IAF). Porém, na medida em que o IAF aumenta, há sombreamento crescente no interior do dossel, resultando em acréscimos menores na eficiência de interceptação (Figura 5). Müller & Bergamaschi (2005) observaram que quando o IAF do milho ultrapassa 2,7 a eficiência de interceptação de RFA tem aumentos decrescentes. A máxima eficiência de interceptação, em torno de 0,98, foi alcançada com IAF entre 5 e 6. Este padrão de variação se ajusta ao modelo exponencial de interceptação proposto por MONSI & SAEKI (1953), modificado e utilizado por diversos autores, como BONHOMME et al. (1982) e GOSSE et al. (1986). Assim sendo, qualquer fator que afeta o crescimento da área foliar também interfere na eficiência de interceptação de RFA. Dentre eles, destacam-se o déficit hídrico, a deficiência de nitrogênio no solo, a densidade e o arranjo de plantas na área (Figura 5). França et al. (1999) observaram que o déficit hídrico diminuiu o crescimento vegetativo do milho, reduzindo o índice de área foliar e a produção de matéria seca, aumentando a necessidade de graus-dia para completar o ciclo. Como consequência, sob efeito da estiagem, a cultura reduziu sua eficiência de uso da radiação solar, de 2,60 gramas de matéria seca por megajoule de RFA interceptada, sem déficit hídrico, para 1,44 g de matéria seca por megajoule de RFA.

Para Sangoi e Silva (2006), a densidade e o arranjo de plantas de milho são considerados fatores fundamentais para otimizar a exploração do ambiente, já que permitem ajustar a cultura à disponibilidade de radiação solar da região ou da época de cultivo. A partir desta constatação, e pela necessidade de incrementar a eficiência de interceptação e a eficiência de uso da radiação solar, grande esforço tem sido feito, em programas de melhoramento, visando desenvolver genótipos adaptados a altas densidades de plantas. A seleção de híbridos, para altas densidades, tornou-os mais tolerantes a estresses, permitindo aumentar a produtividade da cultura. Assim, a tendência é que a densidade de plantas aumente ainda mais nas lavouras de milho. Outras alterações no arranjo de plantas também são necessárias, como a redução do espaçamento entre linhas, para uma distribuição mais uniforme das plantas na área (Figura 5). Com isto, densidades altas e espaçamentos reduzidos fazem parte de um novo enfoque do arranjo de plantas na cultura do milho. Por outro lado, para que essas práticas de manejo possam incrementar o potencial produtivo da lavoura brasileira, é fundamental que haja uniformidade na emergência e homogeneidade na distribuição das plantas nos sulcos de semeadura. Além disso, a disponibilidade hídrica, a fertilidade do solo e a adequação dos genótipos às condições da região produtora, também são requisitos fundamentais para que as inovações no arranjo de plantas se traduzam em maior rendimento de grãos na colheita (Sangoi & Silva, 2006).

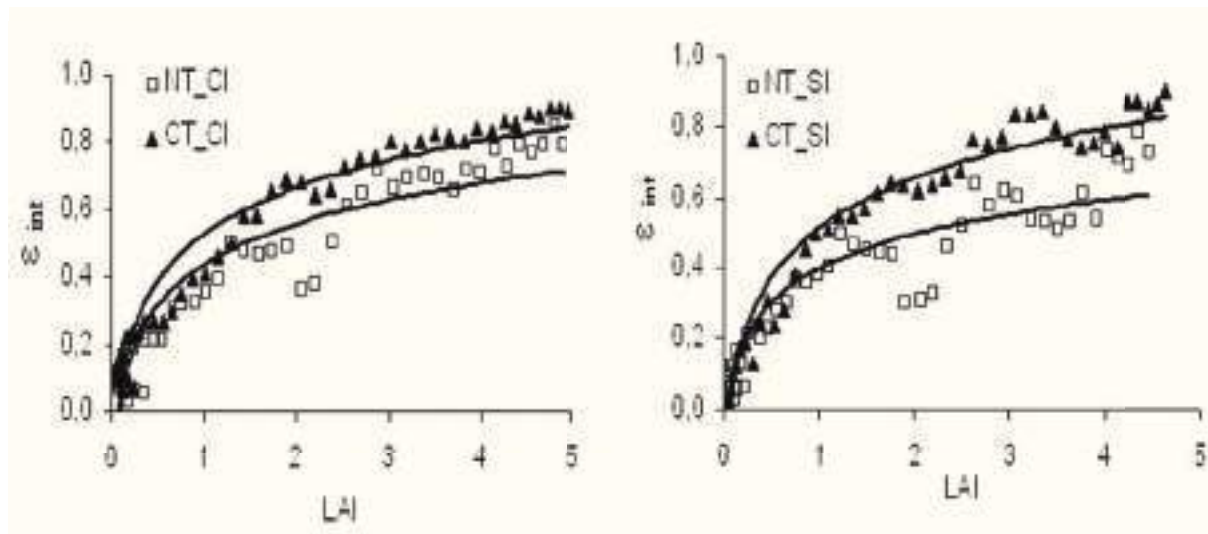


Figura 5. Eficiência de interceptação de RFA ( $\epsilon_{int}$ ) em função do índice de área foliar (LAI) de milho, em plantio direto (NT) e preparo convencional (CT), com irrigação (CI) e sem irrigação (SI) (Bergamaschi et al., 2004).

Trabalhos experimentais, com diferentes combinações de densidade e arranjo de plantas, demonstraram efeitos variáveis sobre o rendimento de grãos, dependendo da combinação de fatores. Em Goiás, Marchão et al. (2006) observaram que o adensamento proporcionado pelo incremento na densidade de semeadura do milho, em espaçamento reduzido (0,45m), permitiu maior interceptação de RFA e maior rendimento de grãos. No Rio Grande do Sul, Kunz et al. (2007) também verificaram que a redução do espaçamento entre fileiras de milho aumentou a eficiência de interceptação. Porém, a eficiência de uso de RFA não diferiu entre espaçamentos e foi reduzida pelo déficit hídrico.

Além do índice de área foliar, o arranjo de plantas e a arquitetura de plantas podem alterar a eficiência de interceptação de radiação solar. A arquitetura foliar varia em diferentes genótipos, em função da forma e da inclinação das folhas, afetando o coeficiente de extinção. Isto faz com que haja diferenças na eficiência de interceptação de RFA, para um mesmo IAF (Figura 6A, B, e C).

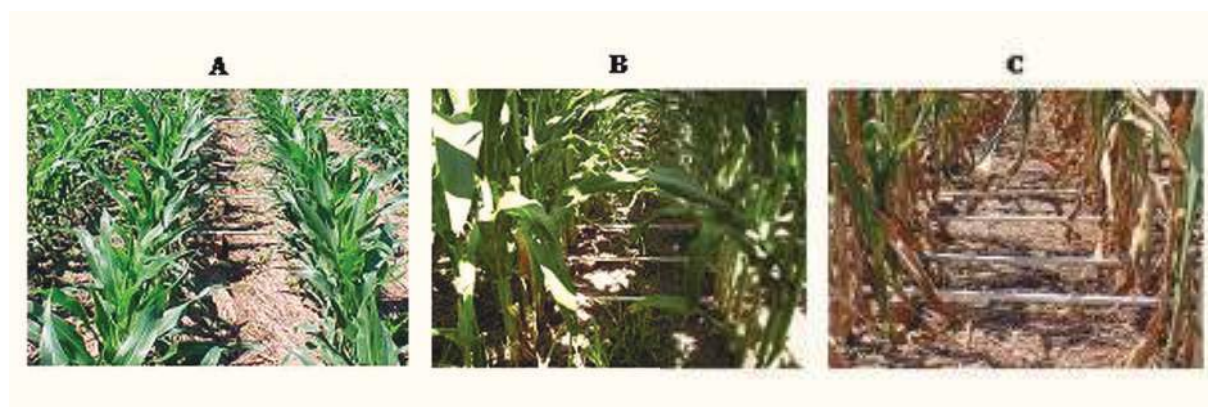


Figura 6. Com baixo índice de área foliar no início do ciclo, a eficiência de interceptação de radiação solar do milho é baixa (A). Com elevado IAF, a interceptação de radiação é máxima em torno do florescimento (B e C). O déficit hídrico pode causar senescência e enrolamento de folhas, diminuindo a interceptação de radiação solar (C). Fotos H Bergamaschi.

Em sistema plantio direto, o milho tende a produzir folhas mais curtas e eretas, diminuindo o coeficiente de extinção do dossel. Para milho cultivado na sucessão de uma cultura de inverno, a liberação mais lenta do nitrogênio da palha, no plantio direto, retarda o crescimento da área foliar e promove a formação de folhas menores e mais estreitas. Isto pode permitir, em princípio, uma maior

população de plantas por unidade de área, até porque o solo mantém maior disponibilidade de água neste sistema (Bergamaschi et al., 2004; Dalmago, 2004).

Para uma população de 67 mil plantas por hectare, o coeficiente de extinção do milho estimado por Müller & Bergamaschi (2005) foi de 0,68, próximo a 0,7, citado por GOSSE (1986). Em relação a coeficientes de extinção estimados pela eficiência de absorção, este corresponde ao limite inferior do intervalo de 0,68 a 0,73, referido por VARLET-GRANCHER et al. (1982), e semelhante aos valores de 0,65 e 0,66, obtidos por MONTEITH (1969) e GALLO & DAUGHTRY (1986), respectivamente. O coeficiente de extinção do milho é menor quando se considera a radiação solar global, ao invés de RFA. Baseados em recentes trabalhos experimentais, Lindquist et al. (2005) obtiveram um valor médio de 0,49 para o coeficiente de extinção do milho, com base na radiação solar global.

Segundo Müller & Bergamaschi (2005), em cultivos de milho não irrigados, o coeficiente de extinção é extremamente variável em função de outros fatores que não apenas o IAF, não se ajustando a uma função linear. Tal variabilidade pode ser atribuída ao enrolamento das folhas, quando a população de plantas está sob deficiência hídrica, diminuindo, assim, a área foliar exposta à radiação solar e aumentando a radiação transmitida pelo dossel da cultura.

A eficiência de uso da radiação solar representa a razão entre a energia fixada na forma de biomassa das plantas e a energia incidente sobre o dossel. Em síntese, ela representa a eficiência da cultura na conversão da radiação solar através dos processos da fotossíntese. A eficiência de uso da radiação solar do milho aumenta no início do ciclo, à medida que aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar, atingindo um valor máximo no meio do ciclo, quando a cultura intercepta o máximo de energia, e diminui ao final do ciclo, com a senescência foliar e a diminuição da atividade fotossintética (Müller & Bergamaschi, 2005).

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa, em milho irrigado, obtida por Müller & Bergamaschi (2005), foi de 3,27 g de matéria seca aérea por megajoule de RFA incidente, na média de todo o ciclo. Na mesma região, França et al. (1999) obtiveram eficiência média de 2,59 g.MJ<sup>-1</sup> de RFA<sub>int</sub>, para todo o ciclo do milho. Durante os períodos de rápido crescimento, florescimento e parte do enchimento de grãos, em que as folhas tinham máxima capacidade fotossintética e máxima eficiência de interceptação de radiação solar, Müller & Bergamaschi (2005) obtiveram 3,58 g.MJ<sup>-1</sup> de RFA<sub>int</sub> (Figura 7). O déficit hídrico reduziu a eficiência de uso de RFA para 2,44 g.MJ<sup>-1</sup> de RFA<sub>int</sub>, no mesmo período. Diversas causas, dentre os quais a redução na condutância estomática (que reduz as trocas gasosas entre as folhas e o ar) e o enrolamento e a senescência foliar (que reduzem a interceptação de RFA – Figura 6C) provocam redução na eficiência de uso de RFA, quando o milho entra em déficit hídrico.

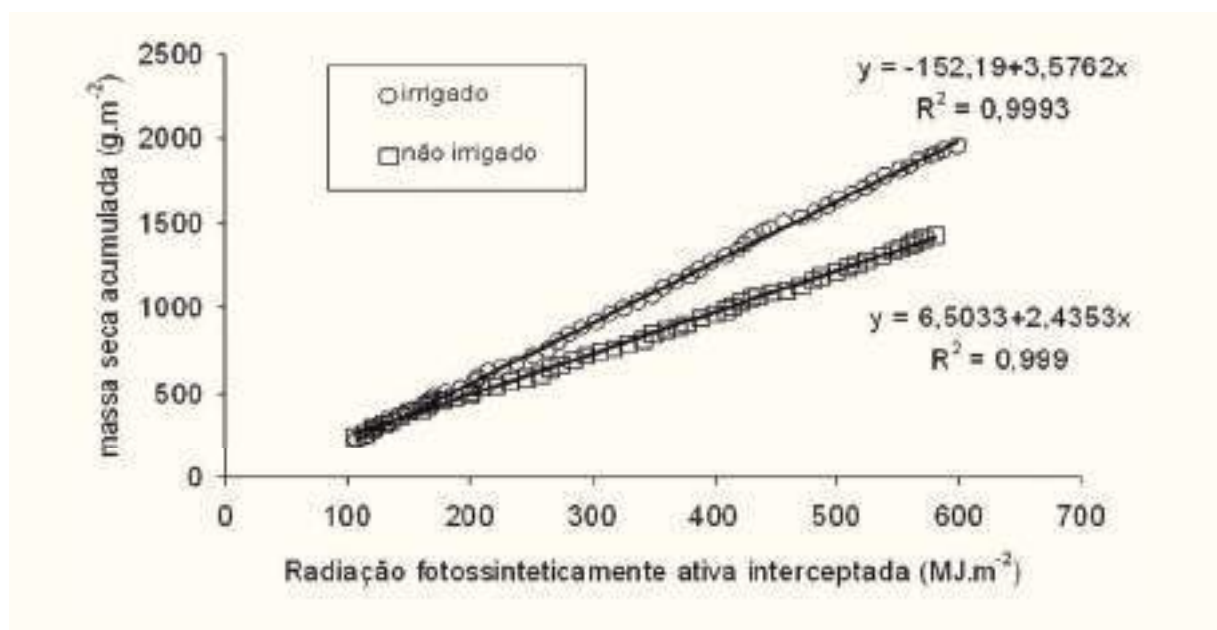


Figura 7. Relação entre a matéria seca acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada em milho (Pioneer 3063), irrigado e não irrigado (Müller & Bergamaschi, 2005).

Avanços no melhoramento genético, sobretudo nas características de plantas, associados ao aprimoramento do manejo da cultura, têm contribuído para aumentar a eficiência de uso da radiação solar pelo milho. Para modelos destinados a simular o acúmulo de biomassa da parte aérea do milho, em condições de ótimo manejo, Lindquist et al. (2005) recomendam uma eficiência de uso de  $3,8 \text{ g MJ}^{-1}$  de RFA absorvida. Este índice se baseou em experimentos conduzidos em alto nível de manejo nos EUA, nos quais foram obtidos valores semelhantes, de biomassa acumulada, àqueles obtidos no Brasil por Bergonci et al. (2001) e Muller & Bergamaschi (2005).

## 2.4 Fotoperíodo

O fotoperíodo exerce influência no ciclo de muitas espécies, sendo tal efeito denominado fotoperiodismo. Em cultivos agrícolas, o maior interesse do fotoperiodismo decorre, sobretudo, da indução ao florescimento, que interfere no crescimento das plantas e na duração do ciclo, para muitas espécies.

Em diversas culturas, como a soja, o fotoperíodo pode ser fator determinante da distribuição regional de cultivares e no próprio calendário de cultivo.

No caso do milho, o número de nós formados antes da iniciação do pendão, portanto, o número de folhas, depende do genótipo, mas é modificado pela temperatura e pelo fotoperíodo (Duncan, 1976).

Segundo Chang (1974), a espécie *Zea mays* pode ser considerada fotoneutra (isto é, sem resposta ao fotoperíodo) ou de resposta a dias curtos. Ou seja, dependendo dos genótipos e das condições regionais (latitude e época), a fenologia do milho pode ser influenciada pelo fotoperíodo. Neste caso, em genótipos que respondem a dias curtos, o encurtamento do fotoperíodo tende a reduzir as necessidades térmicas para a indução ao pendoamento.

Em experimentos na Austrália, Birch et al. (1998) verificaram que o aumento do fotoperíodo pode prolongar o crescimento vegetativo (da emergência ao pendoamento) e aumentar o número de folhas. Este efeito se evidenciou em genótipos adaptados ao Trópico, semeados no final do verão daquele País.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

Embora seja uma cultura de elevado potencial produtivo, o milho apresenta grande sensibilidade a eventos meteorológicos adversos. Por isso, são freqüentes quebras de safras ou destruição de lavouras por granizo, geada, vendavais, estiagens ou inundações. Alguns eventos ocorrem em nível de grande escala, abrangendo grandes regiões e períodos longos, como as secas e as estiagens. Outros, porém, como granizo, vendavais, inundações e as próprias geadas são de ocorrência esporádica e podem atingir regiões específicas, em pequena escala, porém causando danos intensos.

Fenômenos de grande escala são altamente prejudiciais no nível de macroeconomia, atingindo a produção de grandes regiões, englobando, às vezes, diversos Estados. Preocupam não somente os produtores rurais, mas também governos, agentes financeiros, cooperativas, agroindústrias, empresas de insumos e a sociedade em geral. Nas grandes estiagens, como, por exemplo, aquelas dos anos agrícolas de 2003/04 e 2004/05, no Sul do Brasil, toda a economia sofreu os impactos econômicos provocados pelas quebras de safras. Seus efeitos se prolongaram pelos anos seguintes, pois houve grande descapitalização e redução do nível de empregos, em geral. No caso do milho, tais impactos tendem a ser elevados devido à grande cadeia produtiva que movimenta. Recentemente, o milho adquiriu status de “commodity”, uma vez que grande parte do milho norte-americano passou a ser destinado à produção de etanol. Por isso, uma estiagem de grandes proporções, numa importante região produtora de milho, tem reflexos no mercado internacional de grãos e no agronegócio vinculado à sua produção, industrialização e comercialização. Por outro lado, eventos esporádicos e de pequena escala, como granizo, vendavais, e geadas, tendem a afetar, intensamente, apenas os produtores atingidos, apresentando soluções mais difíceis, pelo caráter de ocorrência eventual e restrita. Em alguns casos específicos, inundações também podem causar prejuízos aos produtores de milho.

### 3.1 Granizo e chuva intensa

Enquanto o ponto de crescimento do milho estiver abaixo do nível do solo, o granizo pode danificar as folhas, mas causa pequeno ou nenhum efeito sobre o rendimento final (KUMUDINI et al., 1998; RITCHIE et al., 1993). Mais tarde, as plantas se tornam mais sensíveis com o crescimento dos colmos e a elevação do ponto de crescimento, de modo que a ocorrência de granizo, neste período, pode comprometer maior parcela do potencial produtivo.

Segundo RITCHIE et al. (1993), a cultura do milho é altamente sensível ao granizo durante o pendramento, por ter a inflorescência masculina exposta e pela grande área foliar jovem, que podem ser completamente destruídas. Além disso, sabe-se que o milho define o número de espigas por planta e o número de grãos por espigas no período de florescimento e polinização. Assim, a cultura é altamente sensível a eventuais ocorrências de granizo neste período, que podem causar grandes prejuízos às lavouras.

### 3.2 Seca e veranico

O capítulo que trata da “disponibilidade hídrica em milho” contém uma ampla análise das necessidades e sensibilidades da cultura ao déficit hídrico. O chamado período crítico está bem caracterizado, com duração em torno de 12 a 15 dias, justificando-se pela grande sensibilidade do milho aos estresses durante a polinização, fecundação e desenvolvimento inicial de grãos. Porém, uma curta estiagem, acompanhada de alta demanda evaporativa atmosférica, pode causar grandes prejuízos às lavouras. É importante que o período crítico seja bem caracterizado, para dimensionar os impactos de estiagens no rendimento e para a adoção de práticas de manejo adequadas. A ocorrência de estiagens curtas, freqüentes nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, tornam-se graves quando coincidem com os estádios em que as lavouras são mais sensíveis. BERGAMASCHI et al. (2004 e 2006) fizeram uma ampla abordagem sobre este tema. As longas estiagens, denominadas secas, que são mais freqüentes na região Nordeste, podem causar prejuízos, mesmo que ocorram fora do período crítico.

Medidas de mitigação podem reduzir os riscos das estiagens, em nível de propriedade, como o escalonamento de épocas de semeadura e a diversificação de genótipos de ciclos diferentes, o emprego de práticas conservacionistas, como o plantio direto, e a observância dos zoneamentos agroclimáticos. Este conjunto de procedimentos tem permitido reduzir significativamente o impacto por estiagens de curta duração, nas grandes regiões produtoras de milho do Brasil.

O emprego da irrigação vem aumentando no Brasil, mas ainda se restringe a áreas relativamente pequenas. Por outro lado, além de aumentar significativamente os rendimentos de lavouras (sobretudo em alto nível de manejo), a prática da irrigação reduz as flutuações de safras e estabiliza a renda das propriedades. A utilização de equipamentos de precisão, para o monitoramento e o manejo das condições hídricas das lavouras, tem sido facilitada pela disponibilidade de informações básicas provenientes da pesquisa, sendo a cultura do milho uma das mais pesquisadas quanto ao manejo de água.

Por outro lado, embora haja condições para emprego de irrigação em alto nível técnico, isso não implica, necessariamente, em sofisticação de procedimentos. Contudo, nem sempre o produtor dispõe de infra-estrutura e sistemas complexos. Como se viu em tópicos anteriores, se forem implementadas práticas para eliminar o déficit hídrico durante o curto período crítico do milho, sem outras limitações importantes, o produtor pode assegurar elevados rendimentos ao nível de lavoura. Um manejo adequado de lavouras deve incluir práticas de conservação de solo e água, rotação de culturas, escalonamento de épocas e genótipos e a observância de zoneamentos de cultivos. A alta necessidade hídrica das lavouras e a grande sensibilidade do milho, durante o florescimento e início de formação de grãos, aliadas à elevada capacidade de resposta da cultura ao suprimento de água e nitrogênio, implica em cuidados especiais no período crítico. BERGAMASCHI et al. (2004) demonstraram que lavouras de milho, em alto nível de manejo, podem produzir 8 toneladas de grãos por hectare, se forem irrigadas somente no período crítico. Assim, na eventualidade de ocorrer estiagem durante o período crítico, o produtor poderá assegurar elevados rendimentos, aplicando cerca de 80 a 90mm, em apenas duas ou

três irrigações. DALMAGO & BERGAMASCHI (2006) E BERGAMASCHI & DALMAGO (2006 e 2007) apresentaram uma análise conjuntural da utilização da irrigação no Brasil, considerando as tendências tecnológicas atuais, sobretudo relacionadas à expansão do sistema plantio direto e demais práticas conservacionistas.

A adoção dos índices de necessidade hídrica do milho e seus coeficientes Kc, ao longo dos estádios fenológicos, permitem precisão no cálculo das doses de rega, a partir do monitoramento por estações meteorológicas automáticas. Podem-se fazer aplicações de alta precisão, na medida correta e precisa, de acordo com as necessidades das plantas. Além disso, a partir do monitoramento fenológico, pode-se obter alta eficiência no uso da água, do equipamento e da mão-de-obra, observando os períodos críticos. O próprio manejo do nitrogênio, em lavouras de milho, requer também monitoramento das condições hídricas. Tal manejo representa um item importante nos custos de produção das lavouras e sua eficácia depende de um sistema de alto nível de manejo, no qual o adequado suprimento de água é condição fundamental.

### 3.3 Vento intenso

Os vendavais causam maiores danos em lavouras de milho na medida em que as plantas alongam seu colmo. Em geral, os danos são pequenos no início do ciclo, limitando-se à redução de “stand”, se as plantas forem arrancadas. Ataque de pragas do solo ou a presença de camadas de impedimento, no perfil do solo, pode limitar o crescimento das raízes, aumentando os riscos de acamamento de plantas por efeito do vento.

Em lavouras com alta densidade de plantas e de porte elevado, os danos por vendavais tendem a aumentar. Populações de plantas elevadas tendem a formar colmos mais frágeis, devido à competição por radiação solar, facilitando a quebra. A redução do “stand”, devido à quebra ou acamamento de plantas, diminui o potencial de produção da cultura e aumenta as perdas na colheita, reduzindo o rendimento final. A presença de quebra-ventos, nas proximidades das lavouras, pode diminuir riscos desta natureza, sobretudo em locais descampados e sujeitos a vendavais freqüentes. Em locais de alta incidência de vendavais, o emprego de genótipos de porte baixo também pode reduzir riscos por quebra e acamamento de plantas. Quebra-ventos porosos e de grande altura (embora competindo com a cultura em uma faixa de domínio) tendem a diminuir o consumo de água das lavouras, devido à redução da velocidade do vento.

### 3.4 Geadas

Baixas temperaturas do solo e geadas podem ser limitantes nas regiões de grandes altitudes do Sul do Brasil e nas semeaduras antecipadas de inverno. Nas últimas décadas, o surgimento de genótipos de ciclo muito curto (com menor exigência térmica), tais como híbridos hiperprecoces e superprecoces, permitiu grande expansão no cultivo do milho em regiões anteriormente consideradas marginais ou inaptas por insuficiência térmica. O mesmo ocorreu com a antecipação da semeadura do milho, para a segunda metade do inverno. Também nas chamadas “safrinhas” podem ocorrer baixas temperaturas no final do ciclo do milho, em muitas regiões, causando danos à produção por insuficiência térmica. Esses avanços técnicos permitiram que a cultura do milho avançasse e se tornasse importante em regiões de grande latitude, como na Europa e América do Norte.

A baixa temperatura do solo, durante o período de implantação de lavouras, pode reduzir o “stand” de plantas, por dificultar e retardar os processos de germinação e emergência. A emergência das plântulas também pode ser afetada, ainda mais, se houver chuvas pesadas no período, que podem compactar o solo e formar crostas na superfície. No Brasil, a adoção do sistema plantio direto reduziu os problemas de compactação e formação de crostas na superfície do solo (e a própria erosão). Porém, o aquecimento do solo na primavera tende a ser mais lento em área com cobertura de palha na superfície. A bibliografia também cita redução na absorção de água e nutrientes pelas raízes, se a temperatura do solo for baixa. Porém, em geral, este problema tende a ser limitante em regiões ou

países de clima frio, onde o início da primavera apresenta temperaturas muito baixas. No Brasil, a observância do zoneamento climático da cultura é indispensável e reduz significativamente os riscos por baixas temperaturas (inclusive geadas), se for respeitada a delimitação de zonas e épocas de cultivo. Para regiões frias, a adoção de híbridos super precoces também é uma medida necessária, pois a estação de crescimento é mais restrita que nas regiões subtropicais e tropicais.

Por outro lado, em semeaduras tardias, quando a temperatura do solo é elevada e o solo pode secar rapidamente, o sistema plantio direto apresenta vantagens em relação ao preparo convencional. A presença da palha sobre a superfície diminui o aquecimento diurno das camadas superficiais do solo, mantendo-o em temperaturas mais adequadas. Além disso, o maior teor de matéria orgânica nessas camadas e a maior condutividade hidráulica do solo (não revolvido) mantêm a umidade mais elevada nas camadas superficiais, favorecendo a germinação das sementes e a emergência das plântulas. Quando o solo já se acha aquecido, é aconselhável a colocação das sementes mais profundas, para reduzir os riscos de temperaturas elevadas e de secagem do solo.

No início do ciclo, as plantas de milho mantêm seu ponto de crescimento abaixo do nível do solo, até aproximadamente seis folhas (estádio V6). Enquanto o ponto de crescimento do milho estiver abaixo do nível do solo, a geada, o granizo e os vendavais podem danificar as folhas, mas causarão pequenos ou nulos efeitos sobre o rendimento final (KUMUDINI et al., 1998; RITCHIE et al., 1993). Mais tarde, embora as plantas se tornem mais sensíveis com o crescimento dos colmos e a elevação do ponto de crescimento, as geadas são menos prováveis e menos intensas durante a primavera.

### 3.5 Chuva excessiva / Excesso hídrico prolongado

No início do ciclo, enquanto o ponto de crescimento do milho acha-se abaixo do nível do solo, as plantas de milho são sensíveis à inundação e tendem a morrer por falta de oxigênio, se o solo permanecer encharcado por período prolongado.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUINSKY, S. D. **Prognóstico e otimização do rendimento do milho (*Zea mays* L.) no Rio Grande do Sul**. 1991. 196 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)–Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)**. Roma: FAO, 1998. 326 p. (FAO irrigation and drainage paper, n. 56).
- ASSIS, F. N. de.; MENDEZ, M. E. G. Relações entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, p. 797-800, 1989.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento do déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. p. 25-32.
- BERGAMASCHI, H. O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B.; MORELLATO, L. P. C. (Ed.). **Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. CD-ROM.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A. Can the no-tillage system affect the use of irrigation in tropical and subtropical cropping areas? Roma: FAO, 2006. Disponível em 2008: <[http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/publicat/no\\_tillage\\_system/no\\_tillagesystem.htm](http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/publicat/no_tillage_system/no_tillagesystem.htm)>. Acesso em: 10 fev. 2008.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.. The sustainable use of irrigation in Southern Brazil. **Revista GRID**, Rome, v. 26, p. 11 - 12, fev. 2007.
- BERGAMASCHI, H. et al. Solar radiation intercepted by maize crops as function of soil tillage systems and water availabilities. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE, 13., 2004, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: International Erosion Control Association, 2004. p. 1-4.
- BERGAMASCHI, H. et al. Avaliação técnica e econômica da irrigação em milho na Depressão Central do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 49., ; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 32., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre : FEPAGRO-SCT ; EMATER-RS, 2004b. p. 1-4.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004a.
- BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243-249. 2006.
- BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorología**, Córdoba, v. 1, n. 1, p. 23-27, 2001.
- BERGAMASCHI, H. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. IV. Alterações micrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24 p. 769-777, 1989.
- BERGAMASCHI, H. et al. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H. Ecofisiologia do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002; **Anais...** Florianópolis: ABMS/EMBRAPA/EPAGRI, 2002. CD-ROM.



- BERGONCI, J. I. et al. Diferença de temperatura dossel como um indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7 n. 1, p. 5-11, 1999.
- BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 7, p. 949-956. 2001.
- BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade-UFRGS, 1992. p.11-24.
- BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V. R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 20, p. 111-132. 1984.
- BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95 p. (Boletim técnico, 7).
- BERLATO, M. A.; SUTILI, V. R. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho (*zea mays* L.). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., 1976, Piracicaba, SP. **Anais ... Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, 1978. p. 523-527.
- BONHOMME, R. Bases and limits to using "degree-day" units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, p.1-10, 2000.
- BONHOMME, R. et al. Relations entre production de matière sèche aérienne et énergie interceptée chez différents génotypes de maïs. **Compte Rendu de l'Académie des Sciences**, Série III, Paris, n. 294, p. 393-397, 1982.
- BRISSON, N. et al. Proposition d'un modèle semi-déterministe pour la culture du maïs-grain: application a la C. E. E. et au territoire français. In: COMMISSION DES COMMUNAUTES DES EUROPEENNES. **Evaluations des contraintes sol-climat sur la faisabilité des cultures: applications du maïs grains**. Paris : I.N.R.A. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, 1990.
- FLESCHE, T. K. DALE R. F. A leaf index model for corn with moisture stress reductions, **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 1008-1014, 1987.
- BRUNINI, O. et al. Caracterizações macroclimáticas, agrometeorológicas e restrições ambientais para o cultivo de milho em regiões tropicais baixas. **INFOBIBOS**, Campinas, v. 1, n. 3, 2006. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_3/ambientemilho/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/ambientemilho/index.htm)>. Acesso em: 3 fev. 2008.
- CAMARGO, A. P., PEREIRA, A. R. **Prescrição de rega por modelo climatológico**. Campinas: Fundação Cargill, 1990, 27 p. (Série técnico científica, 170).
- CHANG, J. H. **Climate and agriculture: an ecological survey**. 3. ed. Chicago: Aldine, 1974. 301 p.
- COELHO, D. T.; DALE, R. F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 503-510, 1980.
- DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H. Irrigation in the context of the zero-tillage systems in Brazil. **Tropical Agriculture Association Newsletter**, Rothamstead, v. 26, n. 3, p. 17 - 20, 2006.
- DALMAGO, G. A. et al. Transpiração do milho cultivado em sistemas de semeadura direta e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UNIFRA;SBA; UFSM, 2003. v. 1. p. 295-296.
- DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. 244 f. Tese (Doutorado)–Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- DAUGHTRY, C. S. T.; COCHRAN, J. C.; HOLLINGER, S. E. Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, p. 415-420. 1984.
- DIDONET, A. D. et al. **Efeito de temperatura no desenvolvimento de milho**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. Disponível em <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/milho/temprmil.htm>>. Acesso em: 4 fev. 2008.
- DIDONET, A. D. **Temperatura base para os subperíodos de desenvolvimento de híbridos de milho**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. Disponível em <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/milho/basemil.htm>>. Acesso em: 7 fev. 2008.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Riego y drenage, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, T. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1975. 194 p. (Riego y drenage, 24).
- DUNCAN, W.G. Maize. In: EVANS, L. T. **Crop physiology: some case histories**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 373 p.
- EHLERINGER, J. R.; CERLING, E. T.; HELLIKER, B. R. C<sub>4</sub> photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. **Oecologia**, Berlin, v. 12, n. 112, p. 285-299, 1997.
- FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias: guia para aula, estudos e discussão**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 131p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 251-254.
- FONTANA, D. C. Determinação da evapotranspiração. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. 125 p.
- FRANÇA, S. **Modelagem de crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa, sob diferentes condições hídricas**. 1997. 70 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H. ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento do milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.
- FRANÇA, S. et al. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa, em função do índice de área foliar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 147-153, 1997.
- GADIOLI, J. L. et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calorífica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 377-383, 2000.
- GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 752-756, 1986.
- GILMORE, E. C.; ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 50, p. 611-615, 1958.
- GOSSE, G. et al. Production maximal de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 6, p. 47-56, 1986.
- GUISCHEM, J. M. et al. Crescimento e desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.) em semeadura tardia e sua relação com graus-dia e radiação solar global. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 215-260, 2001.
- HANWAY, J. J. Growth stages of corn (*Zea mays*). **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, n. 5, p. 487-492, 1963.
- HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University. Cooperation Extension Service, 1966. p. 4-15. (Special Reporter, v. 48).

- HATTERSLEY, P.W. Characterization of C<sub>4</sub> type leaf anatomy in grasses (*Poaceae*). Mesophyll:bundles sheath area ratios. **Annals of Botany**, London, v. 53, p. 163-179, 1984.
- HERRERO, M. P.; JOHNSON, R. R. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. **Crop Science**, Madison, v. 21, p. 105-110, 1981.
- HILLEL, D.; GURON, Y. Relation between evapotranspiration rate and maize yield. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 9, n. 3, p. 743-748, 1973.
- KINIRY, J. R. Maize physics development. In: HANKS, J.; RITCHIE, J. T. (Ed.). **Modeling plant and soil systems**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1991. p. 55-71. (Agronomy monographs, 31).
- KUMUDINI, S.; TOLLENAAR, T. Corn phenology. In: TOLLENAAR, T. **Corn physiology**. Ontario: University of Guelph, 1998. Disponível em: <http://www.plant.uoguelph.ca/research/homepages/ttolleena/research/corn.html>. Acesso em: 23 jan. 2008.
- LINDQUIST, J. L. et al. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 72-78. 2005.
- LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para a estimativa da duração do subperíodo da sementeira à floração de um híbrido de milho (*Zea mays* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 31-36. 1999.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Ecofisiologia. In: EMBRAPA MILHO E SORGO. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2007. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/referencias.htm>. Acesso em: 5 mar. 2008.
- MAGALHÃES, P. C. et al. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23 p. (Circular técnica, 22).
- MATZENAUER, R. **Evapotranspiração do milho (*Zea mays* L.) e suas relações com fórmulas e parâmetros meteorológicos**. 1980, 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
- MATZENAUER, R. et al. Evapotranspiração da cultura do milho. I: Efeito de épocas de sementeira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 9-14, 1998a.
- MATZENAUER, R. et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995a.
- MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Belém. **Coletânea de Trabalhos...** Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p. 3-6.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; MALUF, J. R. T. Efeito de períodos de irrigação sobre o rendimento e desenvolvimento do milho, em diferentes épocas de sementeira – 1985/86. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 31., 1986, Porto Alegre. **Ata ...** Porto Alegre: IPAGRO; EMATER/RS, 1986, p. 37-41.
- MEDEIROS, S. L. P. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 1-10, 1991.
- MONSI, M.; SAEKI, T. Über den Lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. **Japanese Journal of Botany**, Tokyo, v. 14, p. 22-52, 1953.
- MONTEITH, J. L. The quest for balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 695-697, 1996.
- MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H. Eficiências de interceptação, absorção e de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo milho (*Zea mays* L.), em diferentes disponibilidades hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 27-33, 2005.
- MÜLLER, A. G. et al. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.
- NIELSEN, R. L. Kernel set scuttlebutt. **Corn News Network Articles**, Purdue University, Aug. 2005. Disponível em: <http://www.kingcorn.org/news/articles.05/KernelSet-0809.html>. Acesso em: 3 abr. 2008.
- NIELSEN, R. L. A fast & accurate pregnancy test for corn. **Corn News Network Articles**, Purdue University, July 2007a. Disponível em: <http://www.kingcorn.org/news/timeless/EarShake.html>. Acesso em: 8 out. 2007.
- NIELSEN, R. L. Ear size determination in corn. **Corn News Network Articles**, Purdue University, June 2007b. Disponível em: <http://www.kingcorn.org/news/timeless/EarSize.html>. Acesso em: 8 out. 2007.
- NIELSEN, R. L. Grain fill stages in corn. **Corn News Network Articles**, Purdue University, Sep. 2007c. Disponível em: <http://www.kingcorn.org/news/timeless/GrainFill.html>. Acesso em: 8 out. 2007.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society**. Serie A, London, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C.; CAMARGO, M. B. P. Solar radiation regime in three cassava (*Manihot esculenta* Crantz) canopies. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 26, p. 1-10. 1982.
- RADIN, B. et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento de plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 9, n. 1/2, p. 7-16, 2003.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Yowa State University, University Extension. 1993a. (Special report, n. 48). Disponível em: <http://www.extension.iastate.edu/hancock/info/corn.htm>. Acesso em: 5 ago. 2008.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Yowa State University, Cooperative Extension Service Ames, Iowa. (Special bulletin, n. 48). 1993b. Disponível em: <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/library/maize/www.ag.iastate.edu/departments/agronomy/corngrows.html>. Acesso em: 8 ago. 2008.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da. **Densidade e arranjo populacional em milho**. 2006. Disponível em: <http://www.infobios.com/Artigos/2006\_2/Densidade/Index.htm>. Acesso em: 25 set. 2008.
- SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Clima e solo. In: CRUZ, J. C.; VERSANI, R. P.; FERREIRA, M. T. R. (Ed.). **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. Disponível em: <http://milho.agriculture.com.br/clima.php>. Acesso em: 25 ago. 2008.
- SANTOS, A. O. **Simulação da perda d'água dos estratos ensolarado e sombreado de um dossel de milho (*Zea mays* L.), sob diferentes condições de disponibilidade hídrica**. 1997. 111 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SCHUSSLER, R. J.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low potential: II. Sensivity to reduced assimilates at pollination. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 1196-1203, 1991.
- STRECK, N. A. et al. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 4, 449-455, 2008.

---

STRIEDER, M. L. et al. Características de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, p. 309-317, 2008.

---

TESSARI, M. L. et al. Resgate de dados meteorológicos da EEA/UFRGS de 1970 a 2008 e estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Ponteith. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20.; FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17.; SALÃO UFRGS JOVEM, 3., Porto Alegre, 2008. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS. Pró-Reitoria de Pesquisa, 2008. CD-ROM.

---

THORPE, M. R. Net radiation and transpiration of apple trees in rows. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 19, 41-57, 1978.

---

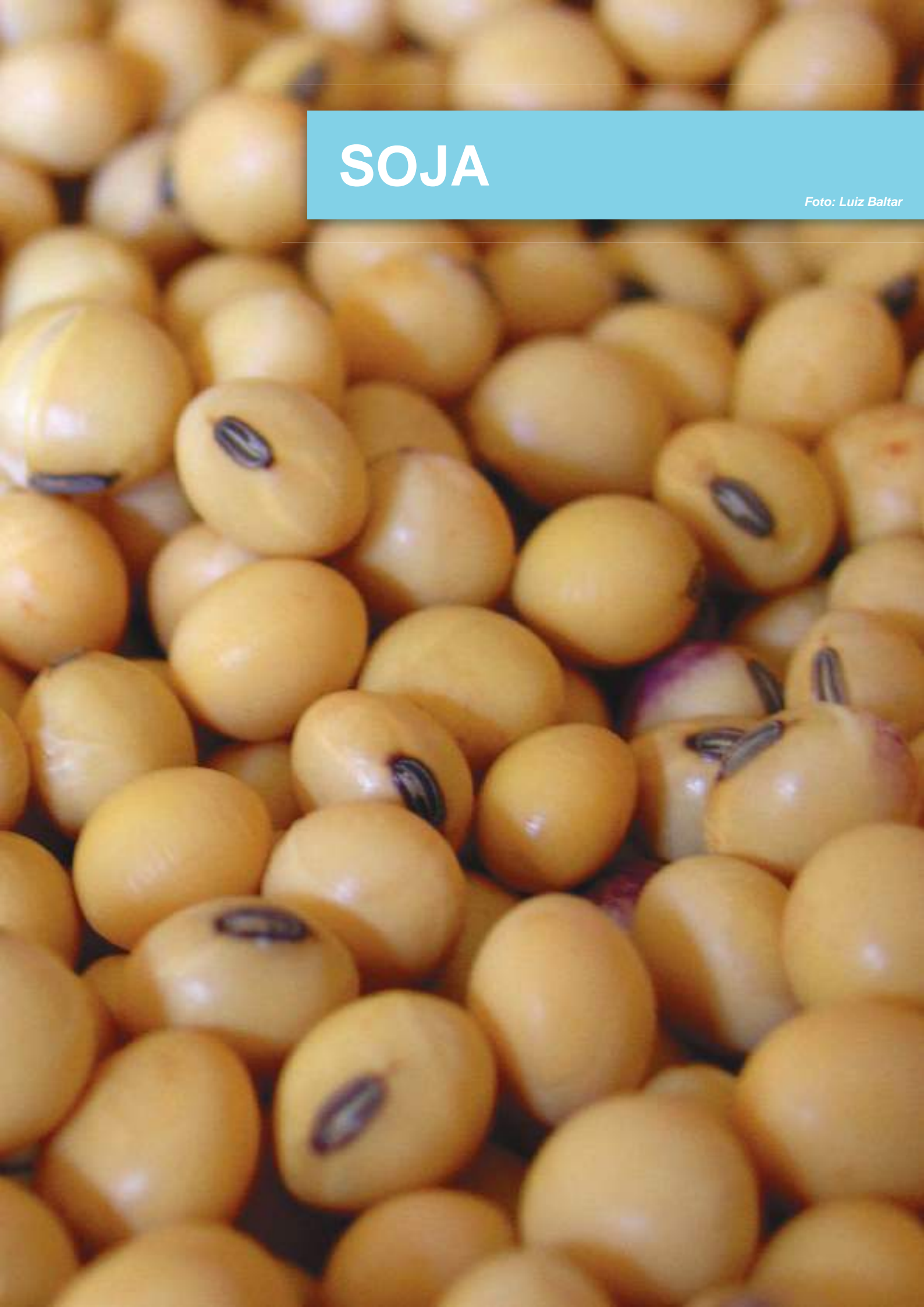
TOJO SOLER, C. M.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 143, p. 169-182, 2005.

---

VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.

# SOJA

Foto: Luiz Baltar





## 1. INTRODUÇÃO

A introdução da soja no Brasil ocorreu na Bahia em 1882, porém sem sucesso. Nove anos mais tarde, em 1891, novos genótipos foram testados em São Paulo, com melhor adaptação. Em 1890, foi testada e aprovada no Rio Grande do Sul, porém, até o final da década de 1940, sua pequena produção era destinada, mais à alimentação de animais (forragem para bovinos e grãos para suínos), que para suprir a indústria de óleos e farelos. Em 1949, o Brasil começou a aparecer nas estatísticas mundiais, com a produção de 25 mil toneladas. Em meados da década de 1950, já produzia 100 mil toneladas. A soja estabeleceu-se como cultura de grande importância econômica na década de 1960, quando superou um milhão de toneladas, em 1969. Até aí, praticamente toda a produção brasileira da oleaginosa provinha dos três Estados da Região Sul. Na década de 1970, a produção saltou para 15 milhões de toneladas, principalmente devido ao incremento da produtividade, mas também à ocupação de novas áreas no sul do País. A partir da década de 1980, houve a expansão da cultura para a Região Centro-Oeste (Zancopé e Nasser, 2005). Na safra 2007/2008, a produção brasileira de soja alcançou os 60 milhões de toneladas (CONAB, 2008).

A soja é uma importante fonte de divisas para o Brasil, contribuindo com parcela significativa nas exportações brasileiras. Para 2008, as estimativas das receitas provenientes das exportações, do complexo soja, superam 17 bilhões de dólares, o que representa mais de 10% das exportações brasileiras. Inúmeras famílias brasileiras, das mais diversas classes econômicas, dependem direta ou indiretamente dos empregos gerados pelo complexo de produção, transporte e industrialização da soja. No entanto, o sucesso de todo esse complexo é, ainda hoje, extremamente dependente das condições climáticas. A queda na produção de soja, no Brasil tem, na ocorrência da seca, uma das principais causas, especialmente nos Estados do centro-sul do País. O entendimento das exigências climáticas da soja, das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera e a aplicação prática destes conhecimentos poderão indicar soluções para a redução dos riscos de insucesso da cultura. Para o correto entendimento das relações entre a planta e condições meteorológicas, é importante que se conheçam as principais características da cultura.

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) cultivada no Brasil, para a produção de grãos, é uma planta herbácea, da classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* L., espécie *max* (TRACE, 2009). As principais variedades comerciais apresentam caule híspido, pouco ramificado, e raízes com eixo principal e muitas ramificações. Possuem folhas trifolioladas, exceto o primeiro par de folhas simples, no nó acima do nó cotiledonar. Têm flores de fecundação autógama, típicas da subfamília Papilionoideae, de cor branca, roxa ou intermediária. Desenvolvem vagens (legumes) levemente arqueadas que, à medida que amadurecem, mudam da cor verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza, podendo conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento amarelo pálido, com hilo preto, marrom, ou amarelo-palha. Apresentam crescimento indeterminado, sem racemo terminal; determinado, com racemo terminal; ou semideterminado, intermediário (Sediyama et al., 1999).

Dependendo das condições do ambiente e da variedade (cultivar), a estatura das plantas varia, sendo a ideal entre 60 e 110 cm que, em lavouras comerciais, pode facilitar a colheita mecânica e evitar o acamamento. O ambiente também influencia a floração e, conseqüentemente, o ciclo (Garner e Allard, 1920). A floração da soja responde ao nictoperíodo, ou à duração da noite (Borthwick e Hendricks, 1952). Para facilitar a compreensão, normalmente, fala-se em fotoperíodo, que é a duração do dia, e diz-se que a soja é uma planta de dias curtos, uma vez que, sob dias longos, atrasa o florescimento e alonga o ciclo

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Soja, Rod. Carlos João Strass, Distrito de Warta, C.P.I 231, CEP 86001-970, Londrina, PR. E-mail: jrenato@cnpso.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Soja. E-mail: norman@cnpso.embrapa.br

3- Eng., Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Soja. E-mail: nepo@cnpso.embrapa.br

(Summerfield et al., 1989). Com o uso do florescimento tardio, em dias curtos, ou do chamado “período juvenil longo”, não há mais restrição fotoperiódica ao plantio comercial de soja, mesmo sob a linha do Equador (Kiihl e Garcia, 1989), fato que rendeu ao Brasil o título de país que “tropicalizou” a soja.

As cultivares brasileiras de soja são classificadas em grupos de maturação (GM), com base no ciclo da cultura. Esta classificação varia conforme a região, como, por exemplo, para Minas Gerais, onde os GM são: semiprecoce (101 a 110 dias); médio (111 a 125 dias); semitardio (125 a 145 dias); tardio (maior que 145 dias). No Paraná, os grupos são: precoce (até 115 dias); semiprecoce (116 a 125 dias); médio (126 a 137 dias) e semitardio (138 a 145 dias) (Embrapa Soja, 2008).

## Fenologia e desenvolvimento

As condições proporcionadas pela variação dos elementos meteorológicos são dependentes da região, do tipo de solo, da época de semeadura e do ciclo da cultura. Assim, a descrição da fenologia da soja permite identificar e agrupar os estádios de desenvolvimento da cultura e relacioná-los com suas necessidades específicas, no decorrer do ciclo. A descrição dos estádios de desenvolvimento de Fehr e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo, por apresentar uma terminologia única, objetiva, precisa e universal, capaz de descrever um único indivíduo, ou uma lavoura inteira, de qualquer cultivar.

O sistema proposto por Fehr e Caviness (1977) divide o desenvolvimento da soja em estádios vegetativos, designados pela letra V, e estádios reprodutivos, designados pela letra R. Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone), as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam estádios específicos (Tabela 1).

### Estádios vegetativos

O estágio vegetativo, denominado VE, representa a emergência dos cotilédones, isto é, uma plântula recém emergida é considerada em VE quando os cotilédones encontram-se acima da superfície do solo, formando um ângulo de 90°, ou maior, com seus respectivos hipocótilos (Figura 1a).

O estágio vegetativo, denominado VC, representa o estágio em que os cotilédones se encontram completamente abertos e expandidos, isto é, uma plântula é considerada em VC quando as bordas de suas folhas unifolioladas não mais se tocam.

Os nós do caule são usados para a determinação dos estádios da soja, por serem permanentes, enquanto as folhas são temporárias. Os nós cotiledonares não são considerados porque não possuem folhas verdadeiras. Os nós, imediatamente acima dos cotiledonares, são os nós das folhas unifolioladas e são, também, opostos no caule. Os nós opostos ocupam a mesma posição no caule e, por isso, são considerados como um único nó. Todos os nós acima daqueles das folhas unifolioladas são alternados, ocupando diferentes posições no caule e possuindo folhas trifolioladas.

As folhas jovens possuem folíolos que, no início de seu desenvolvimento, se assemelham a cilindros. Ao se desenvolverem, os folíolos se desenrolam e os bordos se separam até a abertura completa dos mesmos. Uma folha é considerada completamente desenvolvida quando está totalmente aberta e os bordos dos folíolos da folha do nó, imediatamente acima, não mais se tocam (Figura 1b). A folha apical está completamente desenvolvida quando seus folíolos já se encontram abertos e se assemelham aos das folhas abaixo dela (Neumaier et al., 2000a).

A partir do VC, as subdivisões dos estádios vegetativos são numeradas, sequencialmente, V1, V2, V3, V4, V5, V6,...,Vn, onde n é o número de nós acima do nó cotiledonar, com folha completamente desenvolvida. Assim, uma plântula está em V1 quando as folhas unifolioladas opostas, no primeiro nó foliar, estiverem completamente desenvolvidas, isto é, quando os bordos dos folíolos da primeira folha trifoliolada não mais se tocarem. De modo semelhante, uma planta atinge o estágio V2 quando a primeira folha trifoliolada estiver completamente desenvolvida, ou seja, quando os bordos dos folíolos da segunda folha trifoliolada não mais se tocarem. E assim, sucessivamente, para V3, V4, V5, V6, ... Vn, conforme apresentado na Tabela 1.



Figura 1. (a): Plântulas de soja em estágio VE (emergência); (b): Trifólio de soja, com folíolos cujos bordos não mais se tocam. Fotos: *Norman Neumaier*.

**Tabela 1. Estádios de desenvolvimento da soja (Adaptado de Fehr e Caviness, 1977).**

Período	Estádio	Descrição
Vegetativo	VE	Cotilédones acima da superfície do solo
	VC	Cotilédones completamente abertos
	V1	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
	V2	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
	V3	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
	Vn	Ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
Reprodutivo	R1	Início do florescimento - Uma flor aberta em qualquer nó do caule
	R2	Florescimento pleno - Uma flor aberta, num dos 2 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
	R3	Início da formação da vagem - vagem com 5 mm de comprimento, num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
	R4	Vagem completamente desenvolvida - Vagem com 2 cm de comprimento, num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
	R5	Início do enchimento do grão - Grão com 3 mm de comprimento em vagem, num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
	R6	Grão cheio ou completo - vagem contendo grãos verdes, preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
	R7	Início da maturação - uma vagem normal no caule, com coloração madura
	R8	Maturação plena - 95% das vagens com coloração de madura

Obs.: Caule significa a haste principal da planta; últimos nós se referem aos últimos nós superiores; uma folha é considerada completamente desenvolvida quando as bordas dos trifólios da folha seguinte (acima) não mais se tocam.



## Estádios reprodutivos

Os estádios reprodutivos são denominados pela letra R, seguida dos números de 1 a 8, descrevendo, detalhadamente, o período florescimento-maturação. Os estádios reprodutivos abrangem quatro distintas fases do desenvolvimento reprodutivo da planta, ou seja, florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8). Na Tabela 1 estão apresentados, sumariamente, os estádios reprodutivos da soja.

O sistema de Fehr e Caviness (1977) não apresenta subdivisões dos estádios de desenvolvimento da soja. Entretanto, para maior detalhamento do estádio R5, Yorinori (1996) propõe sua subdivisão em cinco subestádios, ou seja:

- R5.1 - grãos perceptíveis ao tato (o equivalente a 10% da granação);
- R5.2 – granação de 11% a 25%;
- R5.3 – granação de 26% a 50%;
- R5.4 – granação de 51% a 75%;
- R5.5 – granação de 76% a 100%.

## Tipo de crescimento

As cultivares de soja podem apresentar três tipos de crescimento, isto é, indeterminado, semideterminado e determinado. A grande maioria das cultivares brasileiras de soja apresenta tipo determinado, que é caracterizado pelos seguintes atributos (Vernetti, 1983): após o início do florescimento, a planta cresce pouco e não mais se ramifica; o florescimento ocorre praticamente ao mesmo tempo, em toda a extensão da planta; desenvolve vagens e grãos no topo e na base da planta, praticamente, ao mesmo tempo; as folhas do topo da planta são praticamente iguais às demais em tamanho; apresenta um racemo longo, com muitas vagens no nó terminal.

Apenas algumas poucas cultivares brasileiras apresentam tipo indeterminado. O tipo indeterminado é caracterizado pelos seguintes atributos (Vernetti, 1983): até o início do florescimento, apenas cerca de metade da estatura final das plantas é atingida, portanto, após esse estádio, a planta ainda apresenta grande crescimento (produção de nós no caule principal), podendo dobrar sua estatura até a maturação; o florescimento ocorre de forma escalonada, de baixo para cima na planta. Assim, podem existir vagens bem desenvolvidas na base e, ao mesmo tempo, flores no topo da planta; o desenvolvimento das vagens e dos grãos ocorre de baixo para cima. As vagens e os grãos da metade inferior das plantas são mais adiantados que os de cima; as plantas crescem e se ramificam, mesmo durante o florescimento, a formação de vagens e o enchimento dos grãos; as folhas do topo são menores que das demais partes da planta; o nó terminal apresenta poucas vagens.

Apesar da diferença de tempo, entre o surgimento das vagens basais e o das apicais, todas alcançam a maturação, aproximadamente, ao mesmo tempo, pois os grãos das vagens apicais possuem maiores taxas de crescimento.

Existem, ainda, cultivares de soja do tipo de crescimento semideterminado, apresentando atributos tanto do tipo determinado quanto do indeterminado.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

De todos os fatores inerentes à produção agrícola, o clima é o de mais difícil controle, exercendo maior ação limitante às máximas produtividades. Agrava-se a isto a dificuldade de previsão de ocorrências climáticas adversas, principais fatores de risco e de insucesso na exploração das principais culturas. Estresses abióticos, como a seca, o excesso de chuvas, as temperaturas extremas, a baixa luminosidade, etc., podem reduzir, significativamente, os rendimentos em lavouras e restringir os locais, as épocas e os solos, onde espécies, comercialmente importantes, podem ou não ser cultivadas. Dentre os elementos climáticos, a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja.

## 2.1 Disponibilidade hídrica

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta de soja, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, transportando gases, minerais e outros solutos na planta, além de atuar como regulador térmico, agindo tanto no resfriamento quanto na manutenção e na distribuição do calor.

A disponibilidade de água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto a falta de água é prejudicial ao estabelecimento da cultura e à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas, sendo o excesso hídrico mais limitante do que o déficit. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar uma boa germinação. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo disponível e nem ser inferior a 50% (Embrapa Soja, 2008). Embora as raízes possam atingir mais de 1,5 m de profundidade, as atuais cultivares brasileiras de soja têm apresentado raízes pouco profundas, ficando a zona efetiva do sistema radicular ao redor de 40 a 50 cm. Solos pesados e compactados dificultam a penetração das raízes, reduzindo ainda mais a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas de soja.

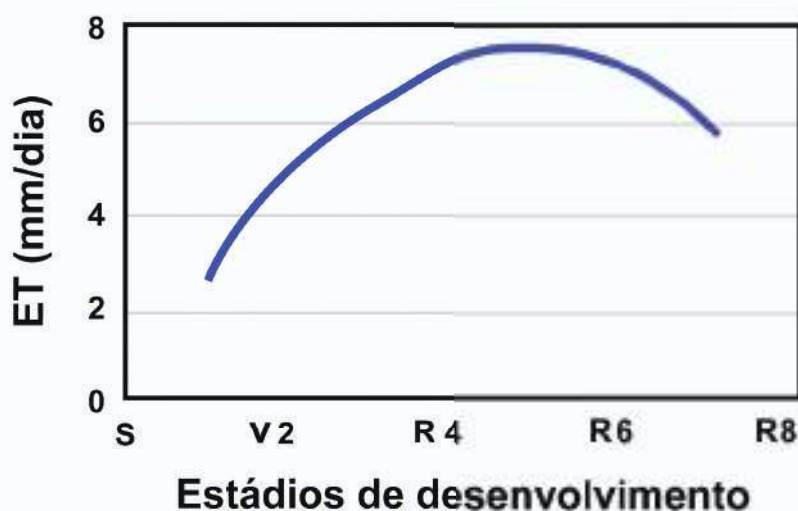


Figura 2: Evapotranspiração (ET) diária da cultura da soja, nos diferentes estádios de desenvolvimento. Adaptado de Berlato et al. (1986).

A necessidade de água pela cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), decrescendo após este período (Figura 2). Nos trabalhos de zoneamento de risco climático, os coeficientes de cultura ( $K_c$ ) empregados e, que melhor expressaram o consumo hídrico em cada fase fenológica da cultura, foram adaptados daqueles obtidos por Berlato et al. (1986) e por Doorenbos e Kassam (1979), resultando nos seguintes valores por período fenológico: 0,56 (S-V2); 1,21 (V2-R1); 1,50 (R1-R5/R6) e 0,90 (R6-R8) (Farias et al., 2001).

O conhecimento da evapotranspiração máxima (consumo de água em condições de ótima disponibilidade hídrica no solo) das plantas cultivadas, nos diversos períodos de desenvolvimento e ao longo de todo o seu ciclo, é de grande importância para o manejo da água na agricultura irrigada. Em cultivos não irrigados, esta informação também é muito útil na tomada de decisão sobre a adoção de práticas culturais que permitam melhor aproveitamento das disponibilidades hídricas naturais de cada região. Um exemplo disso é a definição das épocas de semeadura, de modo a evitar que os períodos críticos, em relação à água, coincidam com períodos de menor disponibilidade de água à cultura.

A distribuição desuniforme da precipitação pluviométrica é fator limitante à obtenção de altos rendimentos, principalmente durante as fases de maior demanda de água (floração) e mais críticas à ocorrência de déficits hídricos (enchimento de grãos). A cultura da soja, para apresentar um bom desempenho, necessita, além de um volume de água adequado, uma boa distribuição das chuvas ao longo do ciclo, satisfazendo suas necessidades, principalmente, durante as fases mais críticas.

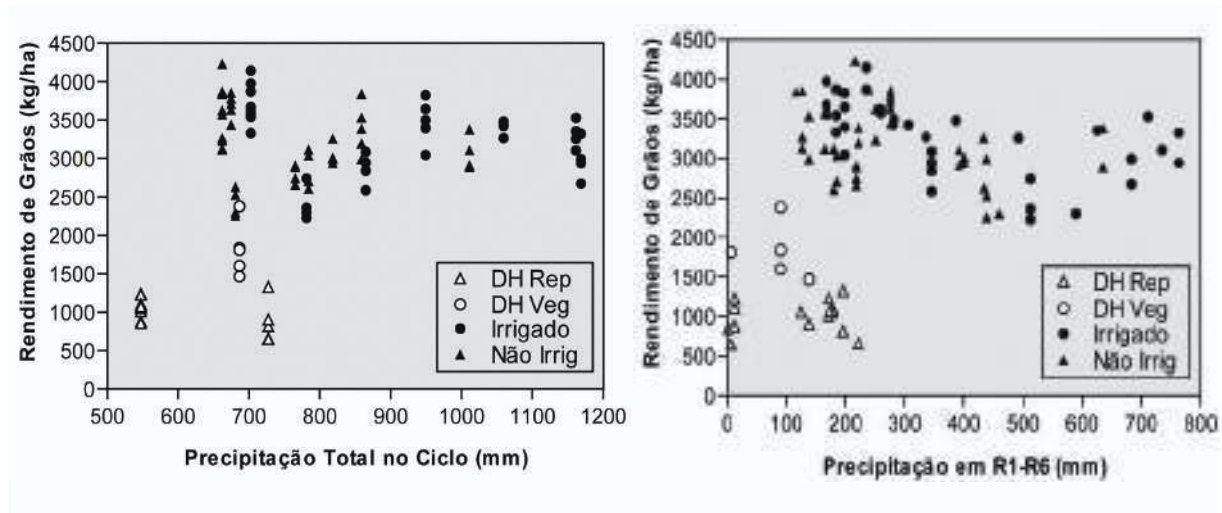


Figura 3: Rendimento de grãos de soja em função do aporte de água durante todo o ciclo, em diversas safras, sob condições irrigadas, não irrigadas e com déficit hídrico (DH), durante as fases reprodutiva (Rep) e vegetativa (Veg).

Figura 4: Rendimento de grãos de soja em função do aporte de água durante a fase mais crítica à falta de água (R1-R6), em diversas safras, sob condições irrigadas, não irrigadas e com déficit hídrico (DH), durante as fases reprodutiva (Rep) e vegetativa (Veg)

Em trabalhos conduzidos na Embrapa Soja, em Londrina-PR, ao longo de 15 safras, avaliando diversas cultivares, sob diferentes condições de disponibilidade hídrica, verificou-se que os maiores rendimentos de grãos de soja foram obtidos com 650 a 700mm de água, bem distribuídos em todo o ciclo (Figura 3). Observou-se ainda que, nos níveis com aplicação de déficit hídrico durante as fases vegetativa e reprodutiva, apesar do volume total de água, durante todo o ciclo, ter atingido valores próximos a 700mm, os rendimentos alcançados não foram tão altos, em função da má distribuição da precipitação, principalmente, durante na fase mais crítica (período reprodutivo), limitando drasticamente a obtenção de elevados rendimentos de grãos. Por outro lado, o excesso de chuvas e dias nublados podem prejudicar a fotossíntese, o arejamento do solo, o desenvolvimento das raízes e a fixação de nitrogênio, interferindo em outros processos e causando várias anomalias no desenvolvimento da soja, reduzindo, também, o rendimento de grãos. O volume de água ideal para atender às necessidades da cultura da soja, durante a fase crítica (R1-R6), situou-se entre 120 a 300 mm (Figura 4), bem distribuídos ao longo deste período, variando de 30 a 60 dias, a partir do início da floração, em função da cultivar e das condições climáticas durante a estação de crescimento.

Da mesma forma que na Figura 3, observa-se que volumes de água de igual magnitude, porém, muito mal distribuídos, também limitaram a obtenção de altos rendimentos. Desta forma, ficou evidente que, para garantir máximo rendimento de grãos, o volume de água necessário deve ser disponibilizado ao longo de todo o ciclo, a fim de atender às exigências da cultura, podendo ser suprido através da chuva, da irrigação e, ou, do armazenamento de água pelo solo.

## 2.2 Temperatura

A soja adapta-se melhor às regiões onde as temperaturas oscilam entre 20°C e 30°C, sendo a temperatura ideal para seu desenvolvimento em torno de 30°C. A semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo dos 20°C, pois a germinação e a

emergência da planta ficam comprometidas. A faixa de temperatura do solo, adequada para a semeadura, varia entre 20°C a 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme (Farias et al., 2007).

Regiões com temperaturas menores ou iguais a 10°C são impróprias ao cultivo da soja, pois nesses locais, tanto o crescimento vegetativo quanto o desenvolvimento torna-se pequeno ou nulo. Por outro lado, temperaturas acima de 40°C têm efeitos adversos na taxa de crescimento, provocando danos à floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens. Tais problemas acentuam-se drasticamente com a ocorrência, concomitante, de altas temperaturas e déficits hídricos (Farias et al., 2007).

Para a produção de sementes de soja, com qualidades fisiológica e sanitária superiores, são indicadas as regiões com temperaturas do ar mais amenas, inferiores a 22°C, durante a fase de maturação da cultura (Costa et al., 1994).

O tombamento fisiológico, também conhecido como cancro de calor, caracteriza-se por plântulas tombadas com lesão de estrangulamento do hipocótilo, no nível da superfície do solo, e pela ausência de patógenos (Neumaier et al., 2000b). Logo após a emergência, quando as plântulas ainda estão em VE ou VC, temperaturas da superfície do solo, acima de 55 °C, podem desestruturar as membranas das células e desidratar os tecidos do colo da planta, causando o tombamento fisiológico ou cancro de calor. O superaquecimento da superfície do solo ocorre, normalmente, nas primeiras horas da tarde, em dias sem vento, quando as temperaturas máximas do ar alcançam 35 °C, ou mais, e a radiação solar incidente, à superfície do solo, é intensa. Observações empíricas mostraram ser este problema mais freqüente em solos sujeitos ao aquecimento superficial, como solos desnudos, arenosos e compactados, não se conhecendo cultivares tolerantes a tais condições. A semeadura direta, bem executada, com boa cobertura de palha, é uma prática que pode prevenir o aparecimento do cancro de calor, para o qual não há tratamento curativo, a não ser, nos casos extremos, a ressemeadura da parte afetada da lavoura.

De forma geral, a temperatura mínima, a partir da qual ocorre o desenvolvimento das cultivares brasileiras de soja, é cerca de 13°C. As diferenças de datas de floração interanuais, apresentadas por uma cultivar semeada, anualmente, em uma mesma época, são devidas às variações de temperatura. Assim, a soja adianta o florescimento quando ocorrem altas temperaturas, o que pode acarretar diminuição na altura da planta. Este problema pode ser agravado se, ao mesmo tempo, ocorrer insuficiência hídrica e, ou, fotoperiódica durante a fase de crescimento. Diferenças de data de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, num mesmo local, são devidas principalmente, à resposta diferencial das cultivares ao fotoperíodo. A soma térmica utilizada, principalmente, para quantificar as necessidades térmicas regionais, não tem apresentado resultados consistentes para a soja, devido ao efeito do fotoperíodo, que participa, com parcela muito significativa, no desenvolvimento da planta.

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas. A qualidade das sementes é afetada negativamente sob altas temperaturas e alta umidade. Tempo quente, associado a períodos de baixa umidade, predispõem as sementes ao “enrugamento” e a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas, na fase de maturação, associadas a períodos chuvosos ou de alta umidade, podem provocar atraso na data da colheita, bem como haste verde e retenção foliar.

### 2.3 Radiação

A radiação solar é um importante componente ambiental que, além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, também fornece sinais ambientais para uma gama de processos fisiológicos da soja. Nesse contexto, além da intensidade da radiação, a duração e a qualidade do espectro luminoso são determinantes de respostas morfológicas e fenotípicas marcantes em soja, tais como estatura da planta, indução ao florescimento e ontogenia (Thomas, 1994).

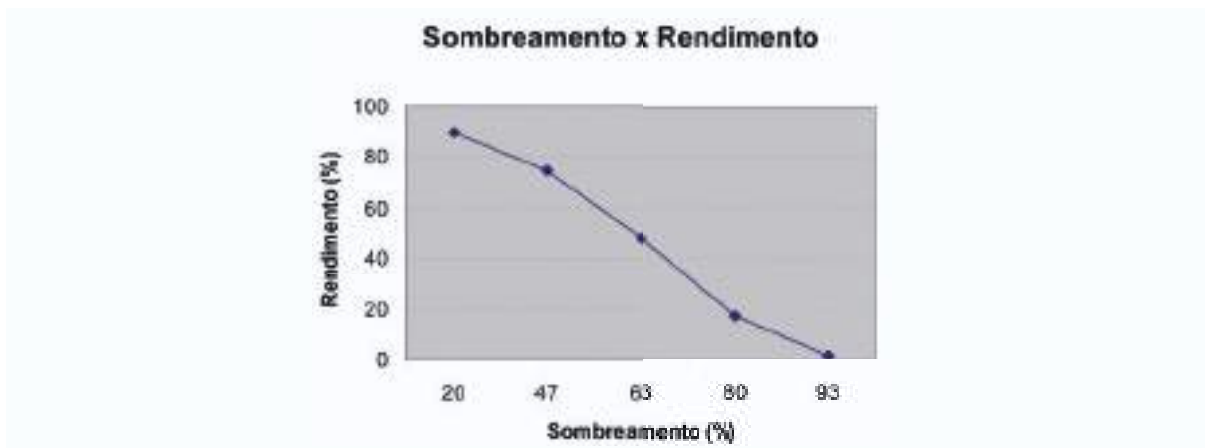


Figura 5. Decréscimos de rendimento da soja sob a ação de diferentes percentuais de sombreamento, relativamente à ausência de sombreamento (0% sombreamento = 100% de rendimento de grãos) (adaptado de Wahua e Miller, 1978).

Na Figura 5 é possível verificar o efeito de níveis de sombreamento no decréscimo do rendimento da soja (Wahua e Miller, 1978). Contrariamente, em experimento onde o enriquecimento da radiação solar, obtido através da inclinação, a 45 graus, das fileiras de bordadura, foi iniciado no final do período vegetativo e no início do florescimento, observou-se um aumento de rendimento de 144 e 252%, respectivamente. Estes resultados positivos foram devidos, principalmente, ao maior número de vagens. Quando o enriquecimento luminoso ocorreu no início da formação das vagens, o aumento do tamanho da semente variou de 8 a 23%, resultando em 32 a 115% de aumento do rendimento (Mathew et al., 2000).

Em outro experimento de enriquecimento luminoso, foi observado maior taxa de crescimento da semente, maior peso seco de semente e maior número de células cotiledonares, enquanto que, sob sombreamento, verificou-se redução na taxa de crescimento da semente e no número de células cotiledonares, juntamente com significativa queda nos níveis de ABA endógeno na semente (Liu et al., 2006).

## 2.4 Fotoperíodo

A adaptação de diferentes cultivares de soja a determinadas regiões, além das exigências hídricas e térmicas, depende, também, de exigência fotoperiódica. Em maior ou menor escala, a indução ao florescimento, na grande maioria das cultivares, é determinada pelo fotoperíodo, sendo modulada pela temperatura. A sensibilidade ao fotoperíodo é característica variável entre cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico (FC), acima do qual o florescimento é atrasado. Por esta razão, a soja é considerada planta de dias curtos, com resposta quantitativa e não absoluta, isto é, o florescimento ocorre de qualquer forma, mais rapidamente à medida que os dias se tornam mais curtos e, atrasa, progressivamente, à medida que o fotoperíodo excede ao FC específico de cada genótipo. Diferentes cultivares possuem fotoperíodos críticos distintos, ficando, em média, ao redor de 13 a 14h.

A sensibilidade da soja ao fotoperíodo ainda é uma importante restrição para a adaptação mais ampla da soja. Em função desta característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul. Quanto mais próximo da linha do Equador, menor é a amplitude do fotoperíodo ao longo do ano. A solução para o problema foi a introdução do período juvenil longo. Cultivares que apresentam “período juvenil longo” possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes e de épocas de semeadura.

O período juvenil longo é uma fonte não tradicional de florescimento tardio (Kiihl e Garcia, 1989). Quando exposta a dias curtos, uma cultivar de soja com período juvenil longo permanece vegetativa por mais tempo que cultivares convencionais, mas poderá florescer mais cedo que algumas cultivares convencionais, sob dias longos. Assim, as cultivares com período juvenil longo parecem menos sensíveis ao fotoperíodo que a maioria das cultivares tradicionais. A incorporação de tal característica viabilizou a exploração da cultura da soja em regiões de baixas latitudes.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuva intensa

O granizo danifica as plantas, ocasionando folhas estraçalhadas ou perfuradas, com perdas de áreas de tecido foliar e danos no caule e na gema apical. Normalmente, os danos são maiores no lado exposto aos ventos dominantes da precipitação de granizo. Os danos nas lavouras ocorrem em faixas, com níveis de severidade diminuindo do centro para os bordos das faixas, sendo o granizo mais comum no início da safra (Neumaier et al., 2000b).

Não existem medidas curativas, a não ser a ressemeadura da lavoura, nos casos extremos. Recomenda-se semear cultivares adaptadas à região, nas épocas indicadas. Nos estádios iniciais (VE, VC e V1), os cotilédones podem ser danificados ou derrubados e podem ocorrer perdas razoáveis de área foliar. Quando o fenômeno ocorre durante os estádios vegetativos, com pequenos danos ao caule, o rendimento é pouco afetado. Danos na gema apical provocam a emissão de ramificações, e danos, na grande maioria das gemas axilares, inviabilizam a lavoura. Danos leves no caule podem confundir-se com sintomas de doenças, como, por exemplo, o cancro da haste e, ou, servir de porta de entrada para outros patógenos.

#### 3.2 Seca e veranico

Apesar do vasto conhecimento sobre o cultivo da soja, possibilitando alto grau de tecnificação da maioria das lavouras brasileiras, a má disponibilidade hídrica, durante a estação de crescimento, constituiu-se, ainda, na principal limitação à expressão do potencial de rendimento da cultura, sendo a maior causa de variabilidade dos rendimentos de grãos observados de um ano para outro, principalmente, no sul do Brasil.

Para a sojicultura, os dados mostram que as perdas, em razão da seca, são constantes. A safra 2004/05 entrou para a história da agricultura como uma das piores de todos os tempos. Nos Estados do sul do Brasil, responsáveis por mais de 40% da produção nacional de soja, as perdas de rendimento de grãos atingiram mais de 78% e 23%, respectivamente, nos Estados do Rio Grande do Sul e do Paraná, comparadas à safra 2002/2003, quando não ocorreram problemas de seca. Tais quebras de produtividades foram responsáveis por mais de 80% das perdas totais da produção brasileira de soja, na safra 2004/2005 (Farias et al., 2007). No Rio Grande do Sul, o rendimento médio das lavouras de soja ficou em torno de 565 kg/ha, valor bem abaixo dos 2667 kg/ha obtidos na safra 2002/2003. As implicações foram enormes uma vez que, não somente produtores, mas toda a sociedade foi afetada.

O estresse causado por deficiência de água determina a presença de plantas pouco desenvolvidas, de pequena estatura, com folhas pequenas e entrenós curtos. Os tecidos vegetais apresentam-se com aspecto “murcho” e os folíolos tendem a “fechar”, para diminuir a área foliar exposta. As secas severas, na fase vegetativa, reduzem o crescimento da planta e diminuem a área foliar e o rendimento de grãos.

Secas durante o período reprodutivo causam reduções mais drásticas no rendimento de grãos, sendo a ocorrência de déficit hídrico, durante o período de enchimento dos grãos, mais prejudicial que durante a floração. Déficits hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como consequência, aumentam a queda prematura de flores e ocasionam o abortamento de vagens e o “chochamento” de grãos, com a consequente diminuição do número de vagens sadias e o aparecimento de vagens vazias ou “chochas”. O abortamento de vagens não é plenamente compensado pelo número de grãos por vagem e pelo peso do grão, pois estes componentes do rendimento possuem limites máximos, geneticamente determinados. Entretanto, alguma compensação no peso do grão é sempre possível, caso as condições hídricas normalizem-se a tempo de proporcioná-la. As secas podem diminuir a taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos (g/planta/dia) e apressar a maturação, fazendo com que os grãos produzidos, sob seca, sejam menores. O efeito da ocorrência do déficit hídrico

sobre o rendimento da cultura dependerá da intensidade, da duração do déficit hídrico, da época de ocorrência, da cultivar, do estágio de desenvolvimento da planta e da interação com outros fatores determinantes do rendimento.

A caracterização dos mecanismos de inibição do crescimento das plantas, pelo déficit hídrico, constitui-se num problema de importância e de real interesse. A umidade interna das plantas influencia muitos processos fisiológicos. Plantas sob estresse hídrico têm afetada a absorção de água, a germinação de sementes, o fechamento estomático, a transpiração, a fotossíntese, a atividade enzimática, o metabolismo do nitrogênio e outros processos. A maneira exata pela qual a falta de água afeta o crescimento e o desenvolvimento da planta tem sido alvo de muitos debates. Há evidências de que o estresse hídrico afeta o crescimento através de mecanismos diretos e indiretos, alterando relações hormonais e nutricionais e a formação de carboidratos. Ao longo da evolução, as plantas desenvolveram mecanismos com os quais têm sobrevivido aos estresses hídricos. Tais mecanismos variam entre espécies no que se refere a tolerar, escapar e evitar o déficit hídrico. No primeiro caso, a planta sobrevive sob elevados estresses hídricos internos; no segundo, a planta completa o ciclo antes de períodos de seca; e, no terceiro caso, a planta mantém um potencial elevado de água nos tecidos.

O estresse hídrico prejudica a atividade fotossintética, pelo fechamento estomático e a consequente diminuição da assimilação de  $\text{CO}_2$ . Somente deficiências mais drásticas afetam o processo fotossintético de redução do carbono. Déficits moderados não prejudicam as reações fotossintéticas nos cloroplastos.

Para que uma planta tenha boas condições de sobrevivência, em regiões onde há pouca disponibilidade de água, ela deve ser capaz de manter uma condição hídrica superior durante as horas mais críticas do dia, quando a demanda evaporativa da atmosfera é alta, estando isto associado com um sistema radicular bem desenvolvido.

Cabe ressaltar que a ausência de chuvas, isoladamente, não significa, obrigatoriamente, ocorrência de déficit hídrico. A planta busca um ajuste entre a absorção de água e a transpiração. O limite a este ajustamento representa o início do déficit hídrico. Toda a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera ocorre em função da demanda evaporativa da atmosfera (DEA) que, em última análise, determina a magnitude da perda de água por transpiração e, conseqüentemente, a necessidade de absorção pelas raízes (Bergamaschi et al., 1999). A transpiração ocorre, então, em função da DEA e, de forma prática, o déficit hídrico tem início quando a transpiração da planta começa a ser limitada pela disponibilidade de água no solo. A capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) é expressa pela diferença entre os limites máximo (capacidade de campo) e o mínimo (ponto de murcha permanente) de água disponível, multiplicada pela profundidade efetiva do sistema radicular. Solos de textura mais fina (mais argilosos) retêm maior quantidade de água que solos com partículas mais grossas. Práticas que favoreçam à melhor estruturação do solo e o aprofundamento do sistema radicular contribuem para incrementar o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, sua CAD. Em regiões caracterizadas pela ocorrência de elevada radiação solar, ventos fortes, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, com distribuição irregular de chuvas e elevada demanda evaporativa da atmosfera, a disponibilidade hídrica no solo passa a ser fundamental para assegurar sucesso à exploração agrícola, principalmente, na ausência de irrigação.

A chuva é a principal fonte de água para a maior parte da produção de soja mundial. Apesar de eficazes, poucos são os agricultores que dispõem de sistemas de irrigação para suplementar as necessidades de água da cultura, em função do elevado custo de tais sistemas. Apesar dos grandes prejuízos advindos da ocorrência de adversidades climáticas, pouco ou quase nada se tem para apresentar, como solução, ao produtor, sem aumentar seu custo de produção. Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, indica-se semear apenas cultivares adaptadas à região e à condição de solo, fazendo-o em época recomendada e de menor risco climático, com adequada umidade em todo o perfil do solo, além de adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo, como, por exemplo, o controle de ervas daninhas, o aumento de matéria orgânica, a semeadura direta, etc.. Deve-se evitar a semeadura em épocas de risco, indicadas pelo zoneamento agroclimático.

### 3.3 Vento intenso

Ventos leves e moderados servem para manter o gradiente ideal de gases (CO<sub>2</sub>, vapor de água, etc.) e de temperatura, entre a atmosfera circundante e a superfície das folhas. Entretanto, ventos fortes, mormente quando acompanhados de chuvas torrenciais, são a principal causa de acamamento em soja, principalmente após o estágio R5, quando os grãos começam a “encher” e as plantas se tornam pesadas. Além disso, o vento pode atuar como agente de disseminação de esporos de doenças, como a ferrugem asiática da soja e o nematóide de cisto da soja, além de pragas, como a mosca branca e trips, bem como de sementes de plantas daninhas, como a Buva ou *Conyza* spp. Adicionalmente, atua, também, como agente causador da deriva na aplicação de agrotóxicos e de calcário. A deriva é evitável, desde que o horário de aplicação e as condições atmosféricas sejam considerados. Além de acamamento, os ventos fortes podem causar danos físicos à folhagem da soja, como rasgaduras nas folhas e perdas parciais de área foliar. Perdas de área foliar, mesmo significativas, no período vegetativo, causam pequenas reduções de rendimento, entretanto, no período reprodutivo, e a partir de R5, podem causar reduções significativas do rendimento de grãos (Gazzoni, 1974).

### 3.4 Raios

Os raios que atingem lavouras de soja causam reboleiras de plantas mortas. O dano é distinto do causado por doenças porque a morte, tanto das plantas de soja quanto das ervas daninhas, é imediata e porque a área afetada é, quase sempre, circular e não aumenta de tamanho com o tempo. Dependendo da intensidade da descarga, a área afetada pode atingir até 15 m de diâmetro. Os raios são esporádicos, porém ocorrem mais frequentemente nas partes altas da lavoura (Neumaier et al., 2000b).

As descargas elétricas da atmosfera (raios), que normalmente antecedem ou acompanham as tormentas de primavera, sendo esporádicas, não causam grandes reduções no rendimento. Quando ocorrem nos estádios iniciais, pode-se fazer a ressemeadura, recuperando a área atingida.

### 3.5 Chuva excessiva

O excesso de água resulta em plantas de pequena estatura, com folhas pequenas e amareladas, entrenós curtos, raízes adventícias e nódulos na superfície do solo, com a base do caule apresentando tecido esponjoso (aerênquima). Longos períodos de encharcamento dos solos, com excesso de chuvas, muitos dias nublados e pequena demanda evaporativa da atmosfera, reduzem o crescimento da planta e diminuem a área foliar. O encharcamento e o mau arejamento do solo diminuem o crescimento das raízes, podendo causar deficiências nutricionais e o favorecimento a ataques de doenças radiculares.

Durante a estação de crescimento, o alagamento do solo, provocado por chuvas em excesso e drenagem deficiente, pode prejudicar a atividade microbológica e a fixação biológica do nitrogênio, com reflexos na qualidade dos grãos e na produtividade. Chuvas excessivas constituem-se ainda em sérios problemas durante a colheita dos grãos e sementes, pois dificultam o tráfego de máquinas e impedem que os grãos atinjam a umidade ideal do ponto de colheita, provocando perdas significativas na produtividade da cultura.

## 4. ZONEAMENTO DE RISCO CLIMÁTICO

Definindo áreas menos sujeitas a riscos de insucessos, devido à ocorrência de adversidades climáticas, o zoneamento agroclimático da soja constitui-se numa ferramenta de fundamental importância em várias atividades do setor agrícola. Envolvendo várias instituições (MAPA, EMBRAPA, UNICAMP, EPAGRI, IAPAR, FEPAGRO e INMET, entre outros), o zoneamento agroclimático da cultura da soja procurou delimitar as áreas com maior aptidão climática para o



desenvolvimento da cultura, visando à obtenção de maiores rendimentos e menores riscos. Foram definidas as áreas com maior ou menor probabilidade de ocorrência de déficit hídrico, durante as fases mais críticas da cultura da soja, floração e enchimento de grãos, caracterizando tais áreas como favoráveis, intermediárias e desfavoráveis, em função das diferentes épocas de semeadura, das disponibilidades hídricas de cada região, do consumo de água nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e do ciclo da cultivar (Farias et al., 2001). Para tanto, foram usadas séries pluviométricas de várias estações agrometeorológicas, por Estado, contendo, no mínimo, 20 a 25 anos de dados diários, para cada localidade. Em todos os Estados, foram feitas simulações para várias datas de semeadura, nove ou doze períodos, de dez dias cada, nas quais se incluem os períodos recomendados pela pesquisa. Para a espacialização dos resultados, cada valor de  $ETr/ETm$  (evapotranspiração real / evapotranspiração máxima), durante os períodos mais críticos ao déficit hídrico (floração e enchimento de grãos), foi associado à localização geográfica da respectiva estação e, mediante o uso do Sistema de Informações Geográficas, foram elaborados os mapas. Para a definição das áreas de maior ou menor probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na fase mais crítica, foram estabelecidas três classes, de acordo com a relação  $ETr/ETm$  local, com frequência mínima de ocorrência em 80% dos anos (Farias et al., 2001).

Na Figura 6 são apresentados alguns resultados das simulações, para cultivar de ciclo precoce, solo de média retenção de água e nove épocas de semeadura, para o Estado do Paraná. Na Figura 7, os mesmos resultados, para o Estado do Mato Grosso.

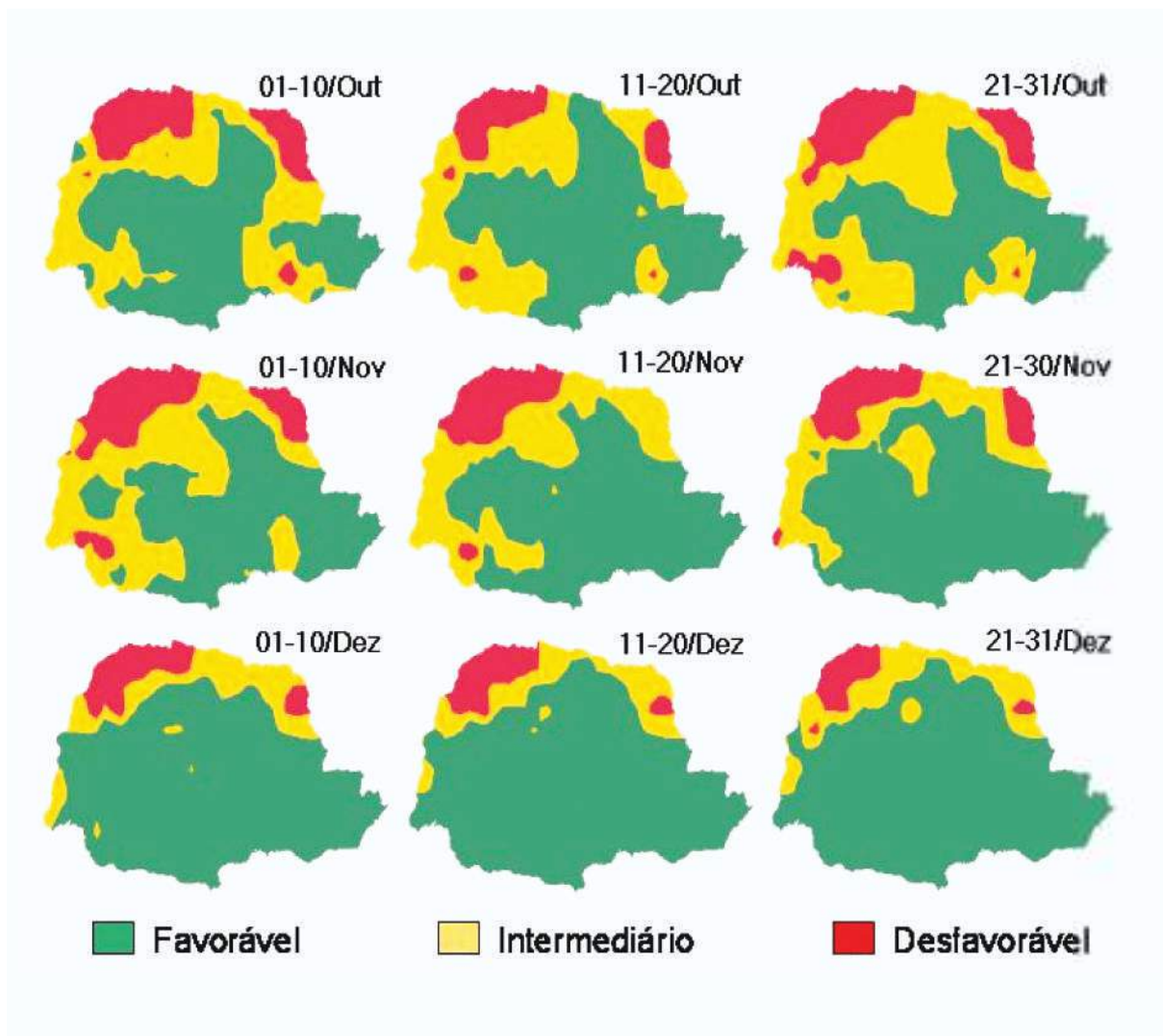


Figura 6. Zoneamento agroclimático da cultura da soja, cultivar de ciclo precoce e solo de média retenção de água, para nove épocas de semeadura, no Estado do Paraná.

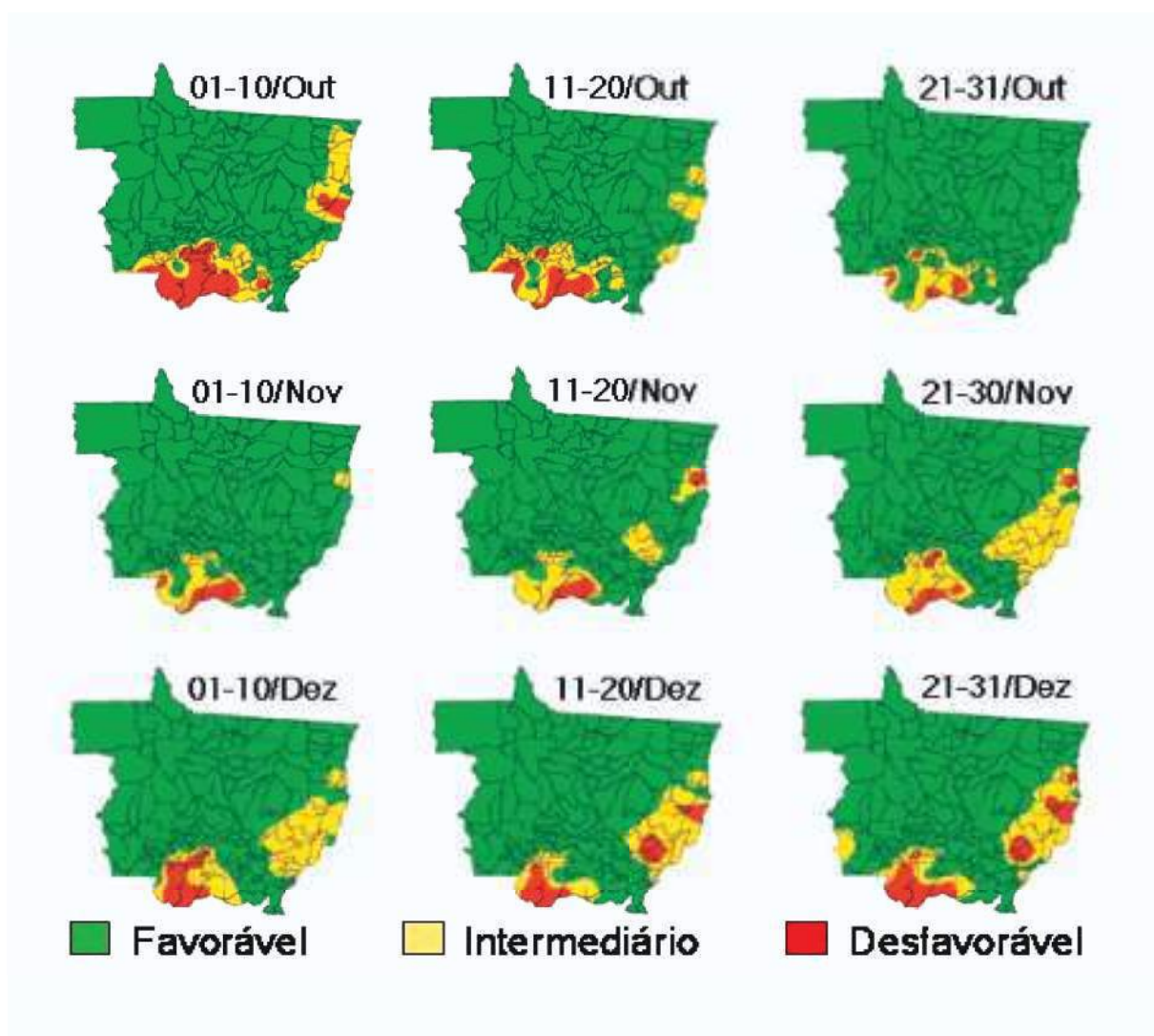


Figura 7. Zoneamento agroclimático da cultura da soja, cultivar de ciclo precoce e solo de média retenção de água, para nove épocas de semeadura, no Estado do Mato Grosso.

As áreas favoráveis correspondem às regiões onde é menor o risco de ocorrência de déficit hídrico, durante as fases mais críticas da cultura. As áreas desfavoráveis definem as regiões de alto risco de ocorrência de veranicos, durante as fases mais críticas da cultura da soja. As áreas intermediárias representam as regiões em que o risco é mediano. Regiões com melhores distribuições e volumes pluviométricos, como o Mato Grosso, apresentam menor risco à cultura da soja.

Os períodos favoráveis não indicam, necessariamente, períodos de semeadura para obtenção dos maiores rendimentos de grãos, mas sim, aqueles em que há menores probabilidades de perdas por déficit hídrico. Deve-se salientar, ainda, que se trata de um zoneamento de risco climático e não de aptidão. Dessa forma, nem todas as localidades favoráveis são aptas ao cultivo da soja, pois, além da disponibilidade hídrica, outros fatores devem ser considerados para avaliar a viabilidade de exploração desta cultura, com sucesso, numa dada região. Por outro lado, muitas áreas classificadas como intermediárias podem ser enquadradas como favoráveis, devido à adoção de práticas adequadas de manejo do solo e da cultura, que permitem às plantas superarem curtos períodos de adversidades climáticas. Os resultados dos trabalhos de zoneamento não são definitivos, sendo passíveis de mudanças e revisões com o passar do tempo. Deve-se deixar bem claro quais são os impedimentos das áreas de risco, marginais e inaptas, pois o desenvolvimento de novas cultivares ou a adoção de práticas de manejo do solo e, ou, da cultura, podem reduzir os riscos do cultivo nessas áreas, permitindo, às plantas, certas condições de tolerância às adversidades climáticas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atual agricultura globalizada, incrementos nos rendimentos e redução dos custos e dos riscos de insucesso passaram a ser exigências básicas à competitividade. Problemas das mais variadas ordens podem surgir e, normalmente, surgem durante a safra. Quando se trata de atividade econômica com margens de lucro tão estreitas, como ocorre com a atual sojicultura praticada no Brasil, não há espaços para riscos e interpretações dúbias, por mais insignificantes que pareçam.

Imenso progresso tem sido conseguido na adaptação da soja para a obtenção de altos rendimentos, em áreas de baixas latitudes. A limitação do fotoperíodo foi eliminada através de seleção cuidadosa e do desenvolvimento de germoplasma menos sensível ao fotoperíodo. O baixo pH e a alta disponibilidade de alumínio nos solos foram superados, principalmente, pela calagem. Atualmente, é provável que o principal fator limitante ao rendimento da soja, em áreas de baixas latitudes, seja a disponibilidade de água nos solos. Os rendimentos são extremamente dependentes da água disponível e, desta forma, provavelmente, será necessário aumentar a disponibilidade de água para atender a transpiração da cultura e, conseqüentemente, para obter incrementos na produtividade. Maior profundidade do sistema radicular parece ser crítico à obtenção de rendimentos crescentes, sob condições limitantes de água. Por conseguinte, aumentar a profundidade das raízes, em direção às camadas do solo com baixo pH e alto teor de alumínio disponível, é um grande desafio (Sinclair e Purcell, 2002). No sul do Brasil, o maior entrave à expressão de altos rendimentos tem sido a variabilidade na distribuição das chuvas durante o período de primavera-verão (Cunha et al., 1998). Então, no futuro, o aumento do potencial para obtenção de altos rendimentos, provavelmente, será resultado da maior disponibilidade de água às culturas.

Previsões ambientais sinalizam para o aumento do aquecimento global nas próximas décadas, significando alterações climáticas. As dificuldades para alimentar a população mundial, em crescimento acelerado, usando apenas tecnologias tradicionais, serão imensas. O desenvolvimento de cultivares mais tolerantes às adversidades climáticas, como, por exemplo, à seca e às altas temperaturas, será essencial, bem como a disponibilidade de novas ferramentas de pesquisa, nas áreas de ecofisiologia e biotecnologia vegetal, possibilitarão compreender, com maiores detalhes, os processos envolvidos nas respostas fisiológicas e agrônômicas das culturas. Somente com o investimento crescente e continuado, em pesquisas agropecuárias, será possível garantir alimentos em quantidade e qualidade às gerações futuras.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1999. 125 p.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 243-259, 1986.

BORTHWICK, H. A.; HENDRICKS, S. B.; PARKER, M. V. The reaction controlling floral initiation. **Proceedings of National Academy of Sciences**, Washington D.C., p. 929-934, 1952.

COSTA, N. P. et al. Zoneamento ecológico do estado do Paraná para a produção de sementes de cultivares precoces de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília DF, v. 16, n. 1, p. 12-19, 1994.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: intenção de plantio, primeiro levantamento, outubro de 2008**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo\\_safra.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf)> Acesso em: 12 set. 2008.

CUNHA, G. R. et al. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 111-119, 1998.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 306 p. (FAO - Irrigation and drainage paper, 33).

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil**, 2008. Londrina, 2008. 280 p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n.12).

FARIAS, J. R. B. et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCNO, A. L., NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Circular técnica, 48).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University. Depto. of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special report, 80).

GARNER, W. W.; ALLARD, H. A. Effect of relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. **Journal of Agricultural Research**, Washington DC, 1920. p. 553-606.

GAZZONI, D. L. **Avaliação do efeito de três níveis de desfolhamento aplicados em quatro estádios de crescimento de dois cultivares de soja (*Glycine max* L.) Merrill sobre a população e a qualidade do grão.** 70 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1974.

KIIHL, R. A. S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trait in breeding soybean cultivars. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., 1989, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: Asociacion Argentina de la Soja, 1989. v. 5, p. 994-1000.

LIU, X. et al. Soybean (*Glycine max*) seed growth characteristics in response to light enrichment and shading. **Plant Soil and Environment**, Prague, v. 52, n. 4, p. 178-185, 2006.

MATHEW, J. P. et al. **Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment.** **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 1156-1161, 2000.

NEUMAIER, N. et al. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E. R. (Ed.). **Estresses em soja.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000a. p. 19-44,

NEUMAIER, N. et al. Estresses de ordem fisiológica. In: BONATO, E. R. (Ed.). **Estresses em soja.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000b. p. 45-66,

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. (Ed.). **Melhoramento da soja.** In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa, MG: Editora UFV, 1999. 808 p.

SINCLAIR, T. R.; PURCELL, L. C. Limitations resulting from abiotic factors, especially inadequate water, on soybean yield in low-latitude areas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2.; MERCOSOJA 2002, Foz do Iguaçu. **Perspectivas do agronegócio da soja: anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 280-291. (Embrapa Soja. Documentos, 180).

SUMMERFIELD, R. J.; ROBERTS, E. H.; LAWN, R. J. Measurement and prediction of flowering in soybeans in fluctuating field environments. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., 1989, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: Asociacion Argentina de la Soja, 1989. p. 82-87.

THOMAS, J. F. Ontogenetic and morphological plasticity in crop plants. In: BOOTE, K.J. et al. (Comp.). **Physiology and determinations of crop yield.** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. cap. 7B, p. 181-185.

TWD. **TRACE – Molecular Biology Database.** Disponível em: <[http://www.bats.ch/trace/?file5=coreforms/taxonomy.php&record\\_number=3](http://www.bats.ch/trace/?file5=coreforms/taxonomy.php&record_number=3)>. Acesso em: 12 set. 2008.

VERNETTI, F. J. **Soja: genética e melhoramento.** Campinas: Fundação Cargill, 1983. 2 v.

WAHUA, T. A. T.; MILLER, D. A. Effects of shading on the N<sub>2</sub>-fixation, yield, and plant composition of field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 387-392, 1978.

YORINORI, J. T. **Cancro da haste da soja: epidemiologia e controle.** Londrina: EMBRAPA-CNPQ, 1996. 75 p. (Circular técnica, 14).

ZANCOPE, G. J.; NASSER, J. M. **O Brasil que deu certo: a saga da soja brasileira.** Curitiba: Triade, 2005. 280 p.



# TRIGO

Foto: Mooncross (usuário do Stock.xchng)





## 1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L., família *Gramineae/Poaceae*) é uma espécie relativamente nova, frente aos quatro bilhões de anos de vida na Terra. Começou a ser forjada, estima-se, há 10 mil anos, no início dessa revolução histórica da humanidade, convencionalmente chamada de agricultura. Foi quando, para sobreviver, o homem passou a selecionar espécies de animais e de plantas que formariam a base de sua alimentação.

Na região chamada de Crescente Fértil, no oeste da Ásia, que abarca o território de países como Síria, Líbano, Turquia, Iraque e Iran, supõe-se que o cruzamento espontâneo entre gramíneas selvagens (*Triticum urartu*, doador do genoma A, e *Aegilops speltoides*, doador do genoma B), originou uma nova espécie, que foi denominada de *Triticum dicoccoides* (AABB). Posteriormente, a ação humana sobre o *Triticum dicoccoides*, via seleção e resseleção, buscou melhor uniformidade (sincronia entre germinação e maturação), menor debulha dos grãos antes da colheita e menor dificuldade de separação entre as glumas e os grãos. Via mutantes naturais, esta espécie, com características de gramínea selvagem, evoluiu para o *Triticum dicoccum*, que foi domesticado, dando origem aos modernos trigos durum, especiais para macarrão italiano, que integram a espécie *Triticum turgidum spp durum*. E foi, também, por cruzamento natural que esta última espécie, sendo fecundada por outra gramínea, *Aegilops tauchii* (doadora do genoma D), resultou no trigo hexaplóide *Triticum aestivum* L. (AABBDD), cultivado hoje, praticamente, no mundo todo, cuja farinha se diferencia dos outros cereais por conter glúten (Feldman, 2001 e van Ginkel & Ogonnaya, 2007).

### Introdução, expansão no Brasil e importância

A chegada do trigo no Brasil remonta ao período colonial. As primeiras experiências foram realizadas em São Vicente, no Estado de São Paulo. Depois, o trigo migrou para o sul, encontrando ambiente, clima e solo mais adequados às suas exigências.

Os açorianos, que chegaram na primeira metade do século XVIII, foram os protagonistas da experiência mais difundida, historicamente, sobre o cultivo de trigo no Brasil, reverenciada com mais ufanismo que realismo. Em seguida, vieram as epidemias de ferrugem, as guerras e a famosa abertura dos portos brasileiros às nações amigas, em 1808, “inundando” o país de trigo e de farinha, oriundos dos Estados Unidos da América, resultando no quase desaparecimento do trigo, em terras brasileiras.

Com a independência e a fase imperial, chegaram os alemães, em 1824, que mantiveram o trigo nas colônias germânicas do Rio Grande do Sul. Depois, vieram os italianos, em 1875, dando novo impulso ao trigo no Brasil. Começaram os empreendimentos industriais de moagem na Serra Gaúcha. E, mais uma vez, entusiasmos, êxitos e decepções sucederam-se.

No fim do século XIX e no início do século XX ocorreram os primeiros fracassos com as importações de sementes não adaptadas, seguindo-se o entusiasmo e o incentivo governamental, com a criação de Estações Experimentais específicas para trigo, em 1919, e o êxito alcançado com o lançamento do trigo Frontana, nos anos 1940. Estímulos para o cultivo de trigo, por um lado, e, por outro, as fraudes do “trigo-papel” e o acordo de compra do trigo americano levaram, uma vez mais, a triticultura brasileira ao segundo plano.

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. C.P. 451, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS. E-mail: cunha@cnpt.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: pires@cnpt.embrapa.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: dalmago@cnpt.embrapa.br

4- Eng. Agrônomo, Msc., Pesquisador, EMBRAPA – Trigo. E-mail: caierao@cnpt.embrapa.br

5- Analista de Sistemas. EMBRAPA – Trigo E-mail: aldemir@cnpt.embrapa.br



A partir dos anos sessenta e com a intervenção governamental no complexo agroindustrial do trigo no Brasil, atingiu-se a quase auto-suficiência, com 6,2 milhões de toneladas produzidas em 1987. Na sequência, ocorreu a desregulamentação da compra estatal do trigo, em 1990, e o acordo do Mercado Comum do Sul - Mercosul – transformando o trigo em moeda de troca.

Finalmente, no século XXI, surge uma nova meta: a busca pela produção de, pelo menos, 60% do consumo anual do País (até 2012). O Brasil, na condição simultânea de importador e exportador de trigo, retomou a produção deste cereal, estimando-se, para a safra 2008/2009, uma produção de pouco mais de seis milhões de toneladas, sendo, ainda, muito pouco, frente ao potencial do País. Por outro ângulo, é um sinal de que o Brasil pode ser colocado, uma vez mais, na vanguarda da produção do trigo.

### Regiões para trigo no Brasil

No tocante às características de ambiente para o cultivo do trigo no Brasil, Azzi (1937) destacou a existência de duas zonas fisiográficas, ou seja, a zona setentrional, no Brasil Central, e zona meridional, no sul do País. Posteriormente, Silva (1966) complementou tal concepção, detalhando a existência de duas regiões distintas para a produção de trigo, uma que se inicia na fronteira do Uruguai, no extremo sul, estendendo-se até o centro e sul do Paraná, ao Sul do Trópico de Capricórnio (23° 27' S) e, outra, que começa no norte e oeste do Paraná, na linha do Trópico, aproximadamente, estendendo-se para o norte, ainda sem limite definido, mas, possivelmente, indo até o paralelo 14° S. Atualmente, considera-se tal limite em 11° S, em áreas escolhidas e delimitadas. Mota (1969) frisou que existem diferenças climáticas entre as regiões produtoras de trigo no Brasil e que estas diferenças influem no rendimento, na escolha das cultivares e nas práticas de manejo da cultura. A Região Tríticola Sul é constituída pelos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, estendendo-se até o centro do Paraná. Nesta região, há diferentes zonas, que podem ser distinguidas pela maior ou menor intensidade do inverno (temperatura média do mês mais frio, com limite de 12°C). Por sua vez, a Região tríticola Norte é formada pelo norte do Paraná, Mato Grosso do Sul e parte dos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Goiás, Bahia e Pernambuco, sendo apta para cultivares sem exigência em frio. Nesta região, diversas zonas podem ser distinguidas, de acordo com a intensidade da seca e a correspondente quantidade de água necessária à irrigação.

Em termos de orientação para pesquisa e transferência de tecnologia, o Brasil está, atualmente, dividido em três regiões tritícolas: Região Sul Brasileira (RS e SC), Região Centro-sul Brasileira (PR, MS e SP) e Região Centro Brasileira (GO, DF, MG, MT e BA). Como principais características de ambiente, têm-se, na primeira, excesso de chuvas e solos ácidos. Na segunda, pelo menos no sul do PR, há também excesso de chuvas e solos ácidos. Nas demais áreas desta região, baixa precipitação pluvial e solos com e sem acidez. Na terceira região, têm-se duas situações de cultivo de trigo, em solos ácidos: sistema de sequeiro, com estresses térmicos e hídricos, e trigo irrigado, em época de baixa precipitação pluvial e condições térmicas mais favoráveis.

Considerando as características ecológicas regionais, à parte fronteiras político-administrativas, e com o objetivo de orientar a indicação de cultivares, Cunha et al. (2006) definiram uma nova regionalização, reordenando as regiões de adaptação para o trigo no Brasil. Com base no regime hídrico durante a estação de crescimento de trigo, nas diversas zonas de produção, do extremo Sul até o Planalto Central, estes autores delimitaram uma região úmida, em que não há estação seca definida e o total de precipitação pluvial supera o consumo de água pela cultura, por evapotranspiração, estendendo-se do Rio Grande Sul ao norte do Paraná. Nesta região úmida, a principal limitação, quanto à adaptação de genótipos, é o estresse associado ao excesso de umidade. Quando se considera o regime térmico sobreposto ao hídrico, pelo menos duas subdivisões se tornam necessárias, ou seja, uma fria e, outra, quente. A “região fria e úmida” concentra-se nas áreas de maior altitude da Região Sul do Brasil (faixa leste) e, a região “moderadamente quente e úmida e quente”, com menor quantidade de frio, por sua vez, limita-se à porção oeste, em locais de menor altitude.

Os reflexos dessas diferenças regionais são perceptíveis na expressão do potencial de rendimento de trigo, tanto nas estatísticas de lavouras em campos de produtores quanto nos dados da rede de ensaios experimentais. A zona de maior altitude (fria e úmida) tem sido definida, ambientalmente, como a mais propícia

à cultura do trigo, propiciando maior rendimento e menor variabilidade entre safras. Isto se explica por uma condição mais favorável na definição do número de grãos por unidade de área, principal componente que define o rendimento final em trigo, especialmente associada com a relação entre radiação solar e temperatura (quociente fototermal), no período que vai de 20 dias antes até 10 dias após a antese (floração).

Uma região quente e moderadamente seca, porém passível de cultivo de trigo sob condições de sequeiro, pode ser identificada no norte do Paraná, sul de São Paulo e parte do território do Mato Grosso do Sul. Esta zona, apesar da possibilidade de estresse hídrico na fase de pré-floração, em alguns anos, caracteriza-se por uma condição ambiente extremamente favorável para a produção de trigo, em termos de expressão de potencial de rendimento e índices de qualidade industrial do produto colhido.

Por último, há uma região “quente e seca”, envolvendo parte do Estado de São Paulo, além de Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais, Mato Grosso e Bahia. Nesta ampla região, tanto estresses térmicos (excesso de calor), quanto hídricos (deficiência de água) estão presentes. Ainda assim, o trigo pode ser cultivado sob condição de sequeiro, restringindo-se a algumas áreas de maior altitude do Planalto Central e, em sistema irrigado, em época do ano mais favorável ao cultivo. As áreas de maior aptidão para cultivo de trigo, nesta porção do Brasil, são as de maior altitude, pelos reflexos positivos do regime térmico, preferencialmente, acima de 800 m. Entre maio e setembro, época seca do ano, é possível obter rendimento elevado, sob irrigação, com genótipos de trigo menos exigentes em frio e insensíveis ao fotoperíodo.

### Fenologia

Mudanças na morfologia externa e interna das plantas de trigo ocorrem, simultaneamente, ao longo do processo de crescimento e de desenvolvimento da cultura. Em termos gerais, da sementeira até a colheita, com base na mudança de funcionamento do meristema apical (ponto de crescimento), que define o tipo de órgão que vai ser diferenciado, o ciclo do trigo pode ser dividido em três fases: vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos. Em cada uma delas, estádios específicos determinam acontecimentos importantes na formação do rendimento final da cultura, tanto sob o ponto de vista da quantidade produzida quanto das características de qualidade tecnológica (classificação comercial dos grãos), como mostra a Figura 1, adaptada de Slafer & Rawson (1994).

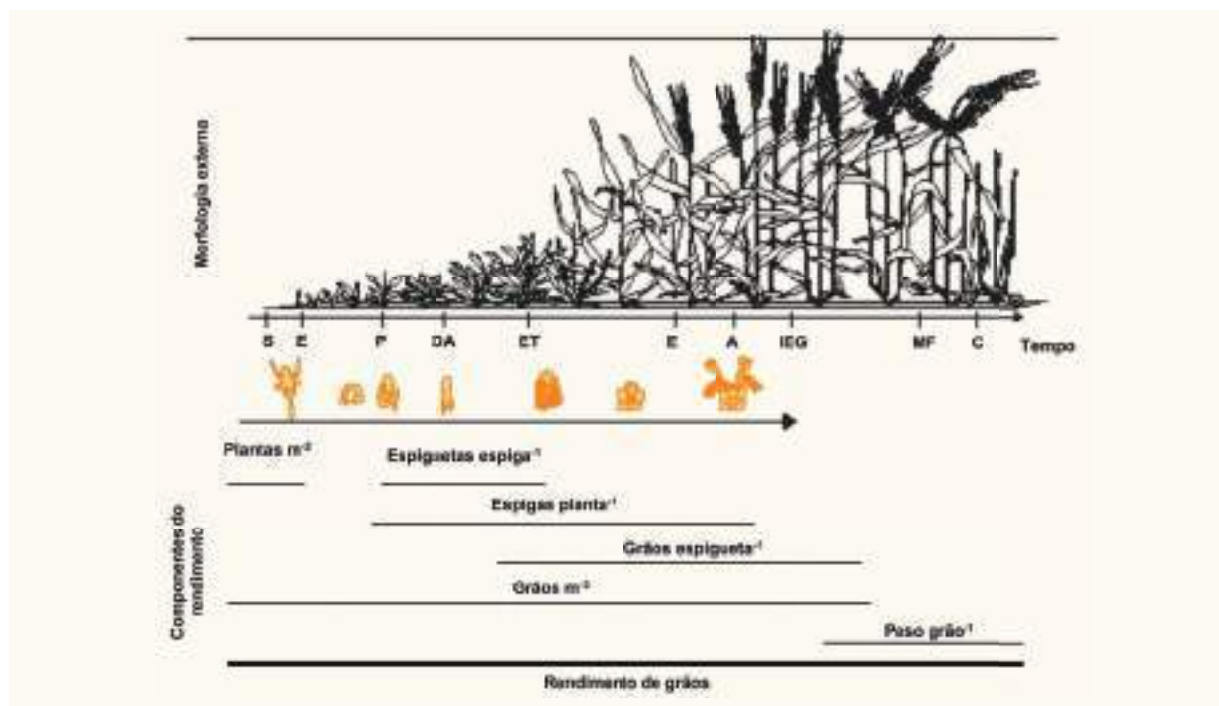


Figura 1. Escala de desenvolvimento do trigo (adaptada de Slafer & Rawson, 1994), sendo: S = sementeira; E = emergência; P = perfilhamento e, ou, aphilhamento; DA = duplo anel; ET = espigueta terminal; E = espigamento; A = Antese; IEG = início do enchimento de grãos; MF = maturação fisiológica; e C = colheita.

A fase vegetativa é definida como uma etapa em que, do ponto de vista de crescimento, são diferenciados, unicamente, primórdios foliares. Inicia-se com a semeadura, uma vez que, tão logo ocorre a embebição da semente no embrião (que já conta com 3 a 4 folhas iniciadas), começa a diferenciação de novos primórdios foliares (entre 2 e 3, até a emergência), a par do crescimento dos órgãos responsáveis pela emergência das plântulas (epicótilo e coleóptilo). O coleóptilo cresce até alcançar a superfície do solo e perceber sinal de luminosidade, momento em que define o subperíodo semeadura-emergência. O nó de afilhamento, situado entre o coleóptilo e o epicótilo, forma-se abaixo da superfície do solo.

Depois do aparecimento da primeira folha, através do coleóptilo, as demais surgem em intervalos mais ou menos regulares, chamados de filocronos, de 100 graus-dia (de 70 a 160 graus-dia, admitindo temperatura base de 0 °C). O afilhamento inicia-se com o aparecimento de afilhos no interior das bainhas foliares, aproximadamente na quarta folha definitiva (três intervalos filocronos depois da aparição da primeira folha), transcorrendo por um período mais ou menos prolongado, conforme a cultivar e o ambiente, até o início do alongamento, quando a competição por recursos inibe a formação de novos afilhos de ordem superior, havendo, inclusive, a morte de afilhos, numa ordem inversa ao seu aparecimento.

A fase vegetativa é encerrada com a iniciação floral, que marca o começo da fase reprodutiva, ocasião em que começam a ser diferenciados os primórdios de espiguetas, na porção central da espiga, estendendo-se, depois, para as extremidades, culminando com o aparecimento da espiguetas terminal, na ponta. O estágio de duplo-anel permite diagnosticar, inequivocamente, que a planta entrou na etapa reprodutiva. Esta etapa pode se estender por semanas, começando a diferenciação de flores nas espiguetas centrais, quando, mais ou menos, metade das espiguetas estão diferenciadas.

O crescimento da espiga e a formação de primórdios florais, no interior do colmo, ocorrem simultaneamente com a alongação e, ou, encanamento (momento em que a planta assume um porte ereto) dos entrenós, cujo período se estende até a floração (antese), quando o colmo finaliza o seu alongamento. Nesta etapa, há o alongamento do último entrenó, o pedúnculo, por onde emergirá a espiga, envolvendo a aparição da última folha (folha bandeira), contemplando ainda o emborrachamento (bainha engrossada), etapa muito sensível a estresses hídricos e térmicos (geada e calor), por coincidir com a meiose dos grãos de pólen. Poucos dias depois da autofecundação sobrevém o espigamento e, com a extrusão das anteras (antese), a floração, que marca o início da fase de enchimento de grãos.

A fase de enchimento de grãos estende-se da floração até a maturação fisiológica, quando os grãos atingem o máximo acúmulo de matéria seca. Nesta fase, a senescência foliar é acelerada. Num primeiro momento, há uma intensa multiplicação celular, sem crescimento aparente do grão, com vistas à formação do endosperma. Depois vem a etapa de enchimento efetivo, com as fases grão leitoso, grão pastoso e grão duro, até, finalmente, grão maduro.

No que se refere ao rendimento de grãos, ao longo do ciclo de desenvolvimento de uma cultura de trigo, pode-se considerar três etapas principais. Na primeira, que se estende da emergência, passando pelo período de afilhamento, até a metade do alongamento (2-3 nós visíveis), o evento mais importante é a expansão da área foliar da cultura, sendo desejável que, no final desta etapa, a cultura tenha área foliar suficiente para interceptar a maior parte da radiação solar incidente (mais de 90%). Na segunda, que compreende o crescimento das espigas sem grãos, o evento principal é a determinação do número potencial de grãos, que é condicionado pela sobrevivência das flores geradas. O peso seco da espigas, por metro quadrado, ao término desta etapa, é um bom estimador dos recursos destinados pela cultura para que as flores geradas, efetivamente, produzam grãos. A terceira etapa, a de enchimento dos grãos, começa poucos dias depois da floração e encerra-se na maturação fisiológica, quando fica determinado o peso final de cada grão e seu respectivo rendimento. O rendimento em trigo pode estar mais limitado pela capacidade de armazenamento dos destinos que pela fonte disponível para encher os grãos. De fato, a relação negativa entre o peso médio do grão (expresso no peso de mil grãos, por exemplo) e o número de grãos por metro quadrado (componente de rendimento que mais explica a variação de rendimento em trigo) tem se mostrado independente da competitividade por assimilados. Ainda, é nessa terceira etapa (enchimento dos grãos) que se define a qualidade tecnológica, sofrendo,

a mesma, uma forte influência de interações entre genótipo e ambiente (clima e manejo) sobre a relação gliadina/glutenina e o tipo de amido formado, servindo para explicar porque certas regiões do mundo prestam-se melhor à produção de determinados tipos de trigo.

A partir 1985, com base no trabalho do fisiologista australiano Tony Fischer (Fischer, 1985), explica-se a variação no número de grãos por metro quadrado como uma consequência da acumulação de recursos e alocação dos mesmos durante um curto subperíodo de desenvolvimento da cultura do trigo, mais especificamente, de poucas semanas imediatamente antes (e talvez uma semana depois) da ocorrência da antese. Neste particular, há diferenças genéticas e possibilidades de manipulação do rendimento, via práticas de manejo. As condições ambientais, locais e anuais influenciam o desenvolvimento e a geração dos componentes de rendimento na cultura de trigo. A temperatura afeta a taxa de desenvolvimento do cultivo desde a emergência até a maturação fisiológica. Temperaturas mais elevadas aceleram o desenvolvimento, com efeitos, por exemplo, na data de floração. Há ainda, a questão das respostas quantitativas ao fotoperíodo e à vernalização (na etapa vegetativa), além de aspectos relacionados com características de precocidade intrínseca do genótipo.

De fato, há um período crítico de uns 30 dias, concentrados entre 20 dias pré-floração (aparecimento das anteras) e 10 dias pós-floração. Neste período, as condições ambientais (radiação solar e temperatura) são essenciais, pois determinam o número de filhinhos que produzirão espigas (numero de espigas por unidade de área) e o número de primórdios florais que sobreviverão dentro de cada uma das espiguetas, estabelecendo-se o número de flores que, efetivamente, poderão produzir grãos. Do produto entre espigas por metro quadrado e grãos por espiga define-se o numero de grãos por unidade de área. A relação positiva entre o peso de espigas, na floração, e o número de flores férteis demonstra que a quantidade de recursos alojados na espiga é fundamental para se lograr um número elevado de grãos (maior peso das espigas, maior número de grãos). Condições desfavoráveis de ambiente, neste período crítico, refletir-se-ão negativamente na definição do número de flores férteis, no momento da antese e, condições pouco favoráveis, nos 10 dias pós-floração, reduzirão a capacidade de estabelecimento dos grãos.

Durante o período crítico de crescimento das espigas, as limitações têm, geralmente, maiores efeitos sobre o rendimento, via redução no número de grãos por metro quadrado. Deste fato decorre a importância de se manejar o cultivo, explorando genótipo e ambiente, para que se conjuguem as melhores condições no período crítico. Para isso, devem ser consideradas a escolha da cultivar, a época, a densidade de semeadura, a nutrição de plantas (adubação de base e em cobertura) e o controle de pragas e doenças, preservando a área foliar fotossinteticamente ativa para interceptar a radiação solar.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

Para elevar o rendimento e a eficiência de uso dos recursos naturais e nutricionais, é fundamental o entendimento da base genética e dos mecanismos relacionados ao rendimento da cultura. Para isso, é importante compreender a interação GENÓTIPO X AMBIENTE (GXE), a identificação do Quantitative Trait Loci (QTLs) e de marcadores moleculares associados com a GXE. É pouco provável que se consiga melhorar o desempenho agrônomico dos cultivos via manipulação de genes, individualmente. A saída vislumbrada tem sido a piramidação de genes de interesse econômico (agrupamento de genes favoráveis em um mesmo genótipo). O manejo da interação GXE, em nível de dossel, para propósitos específicos, particularmente relacionados com a formação do rendimento, é a essência da boa prática agrônômica.

### Potencial de rendimento

O potencial de rendimento (PR) de qualquer cultivo pode ser expresso, de forma muito simplificada, como função da quantidade de radiação solar interceptada ( $R_{si}$ ), da eficiência de uso da radiação solar (EURs) e da partição de biomassa para o rendimento de interesse econômico (no caso do trigo, grãos) ou, como tal partição é definida, operacionalmente, pelo índice de colheita (IC). Matematicamente, tem-se:  $PR = R_{si} \times EURs \times IC$ .

No trigo, a interceptação de radiação solar, sob condições favoráveis de cultivo, é próxima de 100%, desde o fechamento do dossel até o início da senescência foliar. Desta forma, a melhoria na interceptação de radiação solar pode ser obtida via maiores taxas de estabelecimento do dossel, ou mantendo a área foliar verde até os estádios finais da fase de enchimento de grãos, característica denominada "stay-green". Apesar de haver variabilidade genética conhecida para estas duas características, há dificuldades em se demonstrar os avanços genéticos em ganhos de rendimento decorrentes, sob condições de ambientes favoráveis. Admite-se que a maior parte da elevação mundial do rendimento do trigo seja devida à maior partição da biomassa total (parte aérea, particularmente) para os grãos, com reflexos na elevação do índice de colheita, não obstante o valor limite de 60%, estabelecido por Roger Austin, em 1980, ainda não ter sido atingido, talvez por ser excessivamente elevado.

A interpretação dominante na literatura científica é que, a elevação do potencial de rendimento dos trigos modernos (particularmente dos trigos de primavera) foi construída, em parte, pela obtenção de um maior número de grãos por unidade de superfície (componente que mais explica o rendimento de grãos), via aumento da geração e pela diminuição de perda de estruturas reprodutivas. Foi isso que fez o melhoramento genético, nos últimos 50 anos, em considerável parte do mundo, para atingir os grandes saltos de rendimento, ou seja, diminuiu-se o tamanho do colmo e reduziu-se a competição por assimilados durante a fase crítica de crescimento da espiga (espigueta terminal à antese), aumentando o índice de colheita, com os maiores valores obtidos, experimentalmente, aproximando-se dos 50%. Todavia, como não dá mais para continuar diminuindo a altura da planta (há indícios de que a altura ideal da planta de trigo também já foi atingida) e melhorando a partição, o caminho que se vislumbra é o aumento da duração do período de crescimento da espiga, manipulando, geneticamente, a captura de radiação no período crítico, uma vez que há variabilidade genética conhecida, com sensibilidade ao fotoperíodo, independentemente da fase vegetativa inicial, ou via genes ligados à precocidade intrínseca.

Também foi fundamental a incorporação de resistência às doenças, além da busca de tolerância aos estresses abióticos, o que possibilitou, por exemplo, a criação de trigos com rendimentos elevados e, ao mesmo tempo, mais tolerantes à seca e ao calor.

Pode-se, facilmente, entender a formação do rendimento de grãos da cultura de trigo (processo contínuo, da sementeira até a colheita) pelo enfoque de análise dos componentes de rendimento. Assim sendo, o rendimento de grãos da cultura de trigo é dado pelo produto entre o número de grãos, por unidade de superfície, e o peso de cada grão. O problema é que tais componentes e seus subcomponentes (plantas por unidade de superfície, espigas por plantas, espiguetas por espiga e grãos por espiguetas) estão, quase sempre, negativamente correlacionados entre si, manifestando a complexidade da expressão do rendimento final dos cultivos.

Resumindo, entende-se que a elevação do potencial de rendimento de grãos em trigo foi resultante não só da mudança na partição da fitomassa aérea para os grãos, por ação dos genes de nanismos (*Rht*), particularmente, mas também pela seleção continuada nos programas de melhoramento genético, em todo o mundo.

## 2.1 Disponibilidade Hídrica

No Brasil, o trigo é, em maioria, cultivado sob condições de sequeiro, nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná, principalmente, numa época do ano em que a chuva normal excede, em muito, à evapotranspiração da cultura. Na Região Sul, em geral, o excesso de umidade é mais problemático que a falta de água. A evapotranspiração do trigo, naquela região, medida em evapotranspirômetro de drenagem (da sementeira até a maturação massa dura) conforme Westphalen (1983), foi de 312 mm, com um consumo máximo de 3,9 mm/dia, e valores de coeficiente de cultura, *Kc*, (neste caso específico, estabelecido pelos autores como relação direta com a evaporação do tanque classe A) de 0,57 (início), 0,92 (máximo) e 0,60 (final).

Problemas de deficiência hídrica em trigo, no Brasil, começam a ser relevantes a partir do norte do

Paraná, em direção ao centro do País. Mesmo que no Norte do Paraná o trigo seja cultivado sob regime de sequeiro, em alguns anos a falta de água pode dificultar a emergência e o estabelecimento da cultura, por ocasião da sementeira, realizada entre março e abril. Também a falta de água, especialmente a partir do emborrachamento, pode prejudicar o rendimento final, devido à elevação da esterilidade de flores (falhas de granação) e ao enchimento incompleto dos grãos.

No centro do Brasil, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, o trigo cultivado, sob irrigação, na estação seca (maio a setembro), destaca-se por alcançar rendimentos elevados e pela excelente qualidade tecnológica dos grãos. Nessa região, especialmente no Bioma Cerrado, determinações locais para estabelecimento de consumo e orientação sobre o manejo de água em trigo (Guerra et al. 2003), definiram valores de Kcs de 0,70 (fase inicial), 1,57 (meio da estação e, ou, alongação e emborrachamento) e 0,60 (final da estação de crescimento). Tais valores são superiores aos citados pela literatura internacional, a exemplo dos compilados por Allen et al. (1998), que são 0,30 (fase inicial), 1,15 (meio da estação de crescimento) e 0,25 (final da estação de crescimento). Portanto, o uso dos padrões internacionais resultaria em subestimativa do consumo de água do trigo na região tropical do Brasil, implicando em limitação à expressão do potencial de rendimento da cultura, por falta de água. Os Kcs de Allen et al. (1998), possivelmente, se adequariam melhor para a estimativa de consumo de água em trigo na região de clima temperado, no caso, o sul do Brasil.

Para o manejo de água em trigo irrigado, no Brasil tropical, recomendam-se as equações definidas por Guerra et al. (1983), para estimar a evapotranspiração, ET, em mm/dia, e Kc, com base no número de dias após a emergência (x), irrigando na tensão de 40 kPa, a 10 cm de profundidade, com vistas à elevação (dose de rega) de 35 cm do perfil do solo, até a capacidade de campo de 8 kPa:

$$ET = -2,919 + 0,2833x - 0,0022x^2$$

$$Kc = -0,0122 + 0,0503x - 0,0004x^2$$

Nas condições dos solos brasileiros, por impedimentos de natureza química (excesso de alumínio, em geral) ou física (compactação subsuperficial), pode-se considerar como profundidade efetiva do sistema radicular (Ze), onde se concentra a quase totalidade das raízes, o limite de 50 cm.

## 2.2 Temperatura e fotoperíodo

A temperatura, incluindo os efeitos vernalizantes, e o fotoperíodo são as principais variáveis do ambiente que afetam o desenvolvimento do trigo. A vernalização, em princípio, afeta apenas a fase vegetativa (Slafer, 1996).

As plantas de trigo respondem à vernalização, especialmente no decréscimo do tempo para atingir o florescimento, via indução floral, causando diminuição do número de primórdios foliares, ou seja, uma redução do número final de folhas (Slafer & Rawson, 1994). Conforme a maior ou menor exigência em vernalização, os trigos são classificados em trigos de primavera e trigos de inverno. Há também os chamados trigos facultativos, oriundos de cruzamentos entre trigos de primavera e trigos de inverno. No Brasil, cultivam-se, essencialmente, trigos de primavera. Sem vernalização artificial, as condições ambientais brasileiras impediriam a floração de trigos de inverno.

A busca de adaptação ampla, levou, via melhoramento genético, a uma redução da sensibilidade do trigo ao comprimento do dia e a uma menor exigência em vernalização, particularmente, no germoplasma de trigos de primavera, oriundos do CIMMYT.

Em estudo específico para trigos brasileiros (cultivares BR 23 e BR 35), Rodrigues et al. (2001), considerando temperaturas bases específicas para cada subperíodo, estimaram um tempo térmico (graus-dia), da sementeira até a maturação fisiológica, de 1.117 graus-dia, conforme o modelo que segue:

$$t = \frac{109,7}{(Tm_1 - 2,1)} + \frac{191,5}{(Tm_2 - 4,8)} + \frac{227}{(Tm_3 - 0,9)} + \frac{247,3}{(Tm_4 - 8,4)} + \frac{341,6}{(Tm_5 - 8,0)}$$

Sendo  $t$  o tempo, em dias, para a planta atingir a maturação fisiológica,  $Tm_1$ , a temperatura média do solo (0,05m de profundidade) para o subperíodo entre a semeadura e a emergência, e,  $Tm_2$ ,  $Tm_3$ ,  $Tm_4$  e  $Tm_5$  são as temperaturas médias do ar, para os subperíodos emergência-duplo anel, duplo anel-espiguetta terminal, espiguetta terminal-antese e antese-maturação fisiológica, respectivamente. Os valores 2,1°C, 4,8°C, 0,9°C, 8,4°C e 8,0°C são as temperaturas basais dos respectivos subperíodos de desenvolvimento.

### 2.3 Radiação Solar

O crescimento de um cultivo de trigo (acúmulo de biomassa) é determinado pela capacidade fotossintética do dossel em interceptar radiação solar e sua eficiência de uso (conversão), que é variável ao longo do ciclo de desenvolvimento. No caso, a radiação solar é uma variável fundamental na definição do potencial de rendimento do cereal.

O número de grãos, por unidade de superfície cultivada, é considerado o componente de rendimento que mais explica as variações de rendimento em trigo entre anos, locais, épocas de semeadura e cultivares. E, neste particular, conforme modelo proposto por Fischer (1985), a radiação solar afeta o número de grãos via relação linear positiva com a taxa de crescimento da cultura, dando-se o inverso com a temperatura, que afeta negativamente, por acelerar o desenvolvimento num período crítico de 30 dias, ao redor da antese, ou seja, 20 dias antes e 10 dias depois. Com base nisso, definiu-se o conceito de quociente fototermal para trigo ( $Q = MJ.m^2.dia$ ):

$$Q = R/T$$

Sendo  $R$  a radiação solar média diária ( $MJ/m^2.dia$ ), para o intervalo de 30 dias especificados, e  $T$  a temperatura média do período (°C), subtraída de 4,5°C, que é a temperatura-base dos trigos de primavera nesta etapa do ciclo.

Na ausência de limitações hídricas, nutricionais, de pragas e doenças, o quociente fototermal é útil na definição do potencial de rendimento de cada zona de produção.

O trigo apresenta o mecanismo de fotossíntese do tipo  $C_3$  ou  $3C$ , que corresponde ao número de carbonos do primeiro composto orgânico formado (fosfo-glicerato) a partir do  $CO_2$ . O gás carbônico é absorvido através dos estômatos, durante o dia, e assimilado sob a catálise da enzima ribulose-bisfosfato-carboxilase-oxidase, universalmente denominada de *Rubisco*. Esta enzima caracteriza-se pela baixa eficiência de assimilação, pois exige concentrações de  $CO_2$  superiores a  $50mg L^{-1}$ , temperatura ideal entre 15 e 25°C, e alta necessidade de água para formar uma unidade de matéria seca (Taiz e Zeiger, 2004). Em trigo, segundo Stoskopf (1985), a taxa de assimilação de  $CO_2$  varia entre  $36 mgCO_2 gMS^{-1}$ , com 100% de iluminação solar, e  $38 mgCO_2 gMS^{-1}$ , quando a iluminação solar é de apenas 30% .

### 2.4 Fotoperíodo

Admite-se que o trigo pode responder ao fotoperíodo (comprimento do dia) desde, imediatamente após a emergência, até o final da fase reprodutiva.

O trigo é uma planta de dias longos, isto é, acelera o seu desenvolvimento com a elevação do fotoperíodo, até um limite de 20 horas por dia. Todavia, conforme o genótipo, a sensibilidade ao fotoperíodo parece ser relativamente independente da fase de desenvolvimento (Slafer et al., 2001).

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuva intensa

Precipitações de granizo não são raras no Brasil. Causam prejuízos nas áreas urbanas e no meio rural, particularmente quando atingem lavouras. No mundo, de maneira geral, as áreas onde frequentemente ocorrem granizadas concentram-se nas latitudes médias, atingindo, no território brasileiro, principalmente a Região Sul.

Normalmente, a precipitação de granizo ocorre associada com chuvas intensas, que se originam, quase sempre, de nuvens convectivas, formadas a partir de correntes termais ascendentes, comumente conhecidas por *térmicas*. Em geral, a precipitação de granizo dura poucos minutos, seguindo-se apenas de chuvas.

Em termos gerais, no Sul do Brasil, conforme Berlatto et al. (2000), granizadas são mais freqüentes nas regiões de maior altitude e, ou, maior continentalidade, sendo a primavera, a estação do ano de maior risco de ocorrência. Este fato predispõe os cereais de inverno, caso do trigo, por coincidência de estação de cultivo, ao risco inerente de ser danificado por tal fenômeno meteorológico.

O dano causado ao trigo dá-se pela ação mecânica sobre as plantas, quase sempre associada a ventos fortes, causando acamamento, queda de folhas, dilaceração de folhas, quebra de colmos e quebra total ou parcial de espigas. Além de danos diretos, há futuros prejuízos causados, indiretamente, ao rendimento, pela destruição de área fotossinteticamente ativa, rompimento do sistema de circulação de seiva e pela criação de ambiente favorável à entrada de patógenos causadores de doenças.

Conforme Cunha et al. (2001), na fase inicial de desenvolvimento do trigo, até o afilhamento, as granizadas, em geral, não causam maiores prejuízos, pois, nesta etapa, a parte aérea da cultura é formada apenas por lâminas e bainhas foliares, sendo as plantas pouco danificadas e, com a emissão de novas folhas, há considerável capacidade de recuperação. Nas lavouras atingidas, uma adubação nitrogenada, em cobertura, pode auxiliar no processo de recuperação das plantas. Na alongação, no emborrachamento, no espigamento, na fase de enchimento de grãos e, especialmente, após a maturação fisiológica, quando não há mais capacidade de qualquer compensação de rendimento pela planta, os danos por granizo nas lavouras de trigo podem atingir níveis vultosos ou até mesmo de perda total. Além de perda física de rendimento, pode, também, ocorrer prejuízos de qualidade na colheita (grãos verdes e grãos maduros), pela falta de sincronização de maturação entre afilhos de plantas atingidas.

#### 3.2 Secas e “Veranicos”

No sul do Brasil, em geral, estiagens não são problemas para o cultivo de trigo. Em alguns anos, excepcionalmente, estiagens de curta duração (“veranicos”), do mês de agosto até meados de setembro, podem causar algum nível de prejuízo. Como períodos mais sensíveis à estiagem, destacam-se a floração e a formação de grãos.

A partir do norte do Paraná, onde configura-se, climaticamente, uma estação seca, pode haver problema de germinação e emergência de plantas, devido à escassez de umidade no solo, bem como a necessidade de irrigação para obtenção de rendimentos elevados em trigo.

#### 3.3 Vento Intenso

O trigo, a exemplo de outros cereais de inverno, também está sujeito ao acamamento causado por ventos intensos, maiores que 40km/h, cujo dano é mais severo quando ocorre a partir da fase de floração. O acamamento reduz o potencial de rendimento de grãos das lavouras e, principalmente, a qualidade do grão, devido ao contato com a umidade do solo. A sensibilidade ao acamamento é geneticamente controlada, sendo as cultivares de portes mais elevados, em geral, as mais sensíveis. Também o ambiente, particularmente a fertilidade do solo, em especial a fertilização nitrogenada em excesso, pode predispor a cultura ao acamamento, independentemente da velocidade do vento.



### 3.4 Geadas

Há formação de geada quando a temperatura do ponto de orvalho se encontra abaixo do ponto de congelamento da água, zero grau Celsius, para a água pura, fazendo com que o vapor de água, presente no ar, passe diretamente para a fase sólida, que é a sublimação.

Em meteorologia, considera-se ocorrência de geada quando há formação de gelo sobre objetos expostos durante a noite, cuja temperatura cai abaixo de zero grau Celsius, vindo a ser o que os agrometeorologistas, pelo aspecto visual, denominam de geada branca. Há, ainda, a “geada negra”, em geral, não considerada nas observações meteorológicas, embora seja uma adversidade bastante conhecida no meio rural, pelos danos causados às plantas. Nesse tipo de geada, não ocorre formação de gelo. A designação corresponde à coloração adquirida pelos tecidos vegetais, após se submeterem ao fenômeno. Em geral, massas de ar úmido produzem geadas brancas, enquanto massas de ar seco ocasionam geadas negras.

As geadas também são caracterizadas segundo a origem. Por este critério, há geadas de advecção, provocadas por invasões de ar frio; geadas de radiação, resultantes do resfriamento das superfícies por perda de radiação de ondas longas, durante a noite; e geadas mistas, quando estão envolvidos os dois processos, correspondendo à maioria dos casos. Conforme a época de ocorrência, têm-se as populares geadas do cedo, ou precoces (outono) e geadas do tarde, ou tardias (primavera).

O que dá à geada o caráter de risco para a agricultura é a falta de uma regularidade cronológica, dificultando a previsão do fenômeno. Tal fato exige seguidos estudos prévios de agroclimatologia regional, que, mesmo não isentando completamente de risco a atividade, ajudam na minimização dos problemas causados por geadas não previstas. Em alguns anos, dependendo da intensidade da geada e, principalmente, do estágio de desenvolvimento em que se encontre a lavoura, os danos podem ser elevados.

A sensibilidade do trigo à geada começa a aumentar após o início do emborrachamento, atingindo o máximo na floração, e diminuindo após os estádios de grão em massa mole e dura. Contudo, não se pode afirmar que as geadas não causam danos ao trigo quando ocorrem antes do emborrachamento. Conforme a intensidade da geada e a sensibilidade da cultivar (nessa fase existe diferenças genéticas bem acentuadas), os prejuízos podem ser grandes, com queima de folhas, estrangulamento de colmos e morte de plantas. Na floração, até hoje, não se conseguiu identificar uma diferenciação genética clara entre cultivares, quanto à sensibilidade à geada. Por outro lado, são bem conhecidos os sintomas das espigas brancas e da elevada esterilidade, com a formação de poucos grãos por espiga.

As bactérias que vivem sobre e no interior de tecidos e órgão vegetais desempenha papel importante na definição dos danos causados por geada em agricultura. A água tem a capacidade de super-resfriamento, ou seja, pode manter-se no estado líquido, mesmo em temperaturas muito abaixo de zero grau Celsius. A mudança de estado físico da água, do líquido para sólido, é acelerada na presença dos chamados núcleos de congelamento. E, no caso das plantas, tais núcleos são, principalmente, bactérias que possuem a capacidade de nucleação de gelo, conhecidas, em inglês, como “ice nucleation active bacteria”. Há três espécies principais de bactérias, encontradas sobre as plantas, que são catalisadores ativos na formação de gelo, isto é, *Pseudomonas syringae*, *Erwinia herbicola* e *Pseudomonas fluorescens*. No Brasil, destaca-se, pela atividade nucleadora de gelo, a *Xanthomonas campestris* pv. *undulosa*, agente causador da estria bacteriana em trigo, um dos possíveis responsáveis pela intensificação dos danos por geada neste cereal, especialmente nas regiões mais quentes.

É recomendável aguardar o transcurso de alguns dias, uma semana ou mais, para que se possa ter uma idéia mais precisa dos danos causados por geadas, em trigo. A adesão ao seguro rural, com vistas à proteção da lavoura contra tal intempérie, é a melhor alternativa para o produtor.

### 3.5 Chuva excessiva e excesso hídrico

O excesso de umidade pode ser limitante ao cultivo do trigo. Ambientes úmidos predispõem a cultura ao ataque severo de doenças, particularmente fúngicas, o que têm sido um dos principais entraves, de natureza biótica, para a região de clima úmido do sul do Brasil. Nesta região, problemas mais severos são observados em anos de El Niño, quando as chuvas de primavera, em geral, superam os valores normais. Para o cultivo de trigo no sul do País, os anos de La Niña são os mais favoráveis (Cunha et. al., 1999).

### 3.6 Chuvas na colheita (o problema da germinação pré-colheita em trigo)

A germinação pré-colheita, popularmente denominada germinação na espiga, em trigo, tem sido apontada como uma das causas de redução da qualidade do trigo brasileiro. O problema atinge áreas tritícolas de várias partes do mundo (norte e oeste da Europa, noroeste dos Estados Unidos, norte da Austrália, oeste da Nova Zelândia, regiões trigueiras do Canadá, da África do Sul, do Chile, da Argentina e de vários outros países), sendo, no Brasil, mais freqüente, na Região Sul, particularmente, nas áreas mais quentes, onde as temperaturas elevadas diminuem a dormência dos grãos e facilitam a germinação, quando ocorrem chuvas no período de pré-colheita. Em resumo, para que o problema se manifeste, duas condições são necessárias: (1) quebra de dormência durante o período de enchimento de grãos e, (2) chuvas na época de colheita. A germinação pode ser diagnosticada visualmente, quando muito severa, ou, como é mais comum, pelo valor do Número de Queda de Hagberg (Hagberg-Falling Number), dentre outros métodos. O problema nos cereais está ligado à deleção de genes de dormência, ou à quebra de expressão de genes de dormência, durante o final da maturação e da dessecação, juntamente com disponibilidade de umidade na pré-colheita, para ativar os genes de germinação.

Germinação pré-colheita em trigo é problema tanto para o produtor quanto para a indústria, diminuindo o potencial de rendimento das lavouras, afetando negativamente o PH e, acima de tudo, reduzindo o valor comercial do grão, pois, dependendo do nível de germinação, o grão poderá se destinar, exclusivamente, ao consumo animal.

O método do Número de Queda de Hagberg (NQH) é usado como referência internacional em estimativas de germinação pré-colheita em trigo. O NQH é uma medição indireta da atividade da enzima Alfa-amilase. Uma elevada atividade desta enzima significa um baixo valor de NQH e vice-versa. Costuma-se delimitar um valor crítico de 200 s para o NQH, visando ao diagnóstico de germinação pré-colheita; valores abaixo deste índice significam que o trigo apresenta problema. Embora há quem considere, ideal para trigo, valores de NQH acima de 250 s, também não se descarta a possibilidade de uso, para produtos específicos de trigo, de valores de NQH levemente abaixo de 200 s.

Muitos fatores estão envolvidos na germinação pré-colheita em trigo. Primeiramente, a suscetibilidade genética da cultivar (presença ou ausência de genes de resistência), passando pela morfologia e estrutura da espiga (relação com absorção de água), pelo estágio de maturação da lavoura e, finalmente, pelas condições de ambiente (chuva, temperatura e velocidade de secagem dos grãos). E, acima de tudo, há o controle fisiológico associado à dormência (período em que as sementes, ainda que sob condições ótimas de temperatura, de umidade e de luz, não germinam).

Em geral, as cultivares com características de grãos de coloração branca são consideradas mais sensíveis à germinação em pré-colheita, em relação às de coloração vermelha. Todavia, a herança da dormência (sensibilidade à germinação pré-colheita) pode ser independente da coloração do grão, uma vez que nem todo trigo de grão vermelho apresenta dormência.

É quase consenso que são poucas as alternativas para se contornar o problema de germinação pré-colheita em trigo, via práticas culturais, exceto pela escolha de cultivares e de organização da colheita, que devem envolver áreas preferenciais para iniciar a colheita, cultivares mais sensíveis, pelas quais se deve começar a colheita e, necessidade de colheita antecipada.

O livro “Germinação Pré-colheita em trigo” (Cunha & Pires, 2004), um dos poucos textos em língua portuguesa sobre este assunto, reúne contribuições de diversos especialistas e trata dos aspectos fundamentais do problema, bastante relacionado a “chuvas na colheita”.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, são cultivados, comercialmente, trigos de primavera, da espécie *Triticum aestivum* L., com menor exigência em vernalização. Na zona tradicional de cultivo, Região Sul, que não possui estação seca definida, o excesso de umidade gera ambiente favorável à ocorrência de doenças, a par de geadas tardias (na primavera, coincidido com o espigamento do trigo) e precipitações de granizo (localizadas), sendo estes as principais limitações de natureza climática. Vendavais, especialmente na primavera, causam acamamento da cultura, determinando danos de difícil quantificação, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, em geral, quanto mais adiantado o ciclo, maior o prejuízo. As principais doenças que atacam a cultura, nesta zona, são a ferrugem da folha, as manchas foliares e a giberela.

Na região tropical, a deficiência hídrica, em cultivos de sequeiro, e o excesso de calor, com temperaturas elevadas, causadores de esterilidade na espiga, sendo os principais limitantes. Em termos de sanidade vegetal, pela dificuldade de controle, a brusone é a doença mais problemática que envolve o trigo, no sistema de produção no centro do País.

##### **Rendimento de trigo - situação atual e futuro**

No tocante à formação do rendimento de interesse econômico (grãos) em trigo, conforme frisaram Cunha et al. (2008), é fundamental discutir os avanços alcançados na melhoria do desempenho agrônomo dessa espécie e os caminhos vislumbrados pela comunidade científica, para elevar o rendimento e melhorar a eficiência no uso de recursos do ambiente. Em um momento da história da agricultura mundial, em que não se discute a necessidade de maior produção e melhor eficiência, tanto para fins de alimentação quanto para propósitos energéticos, este tema, e seu embasamento teórico, são imperativos quando está em questão o entendimento dos condicionantes agrometeorológicos do rendimento dos cultivos.

O rendimento médio de trigo no mundo, neste começo de século 21, é da ordem de 2,8 toneladas por hectare. Mantidos a área cultivada e o padrão de consumo atuais, até o ano 2025, tal rendimento deveria se elevar para 4,4 toneladas por hectare. Isso significa um incremento, no rendimento médio, de 80 kg por hectare, anualmente, valor muito alto, especialmente se comparado com o período da agricultura mundial denominado de “Revolução Verde” (pós anos 1960), quando houve os grandes saltos nos rendimentos de trigos, com ganhos de 41 kg por hectare, anualmente (de 1960 a 2005). Considerando apenas os últimos 10 anos desta série, os ganhos anuais de rendimento foram de 23 kg por hectare. Isso posto, fica evidente que o desafio do aumentar o rendimento de trigo não será algo fácil, seja do ponto de vista do melhoramento genético e, ou, de manejo de cultivos.

Cabe ainda indagar se a atual tendência observada, em termos de rendimento de trigo no mundo, é válida para todos os países produtores. Nessa comparação, tomando-se por base a série 1960-2005, o Brasil alcançou ganhos de rendimento anuais, em trigo, da ordem de 30 kg por hectare por ano, o que não diferiu da Argentina, que alcançou o mesmo índice, porém, superando os resultados obtidos nos Estados Unidos (26 kg/ha/ano), no Canadá (22 kg/ha/ano) e na Austrália (17 kg/ha/ano). Os países da União Européia constituem caso à parte, apresentando ganhos, neste período, de 90 kg/ha/ano, França e Reino Unido, principalmente. Nos últimos 10 anos, contudo, foi impossível manter estes níveis de ganhos de rendimento nas lavouras de trigo, quando estes países apresentaram taxas negativas, embora tenham conseguido rendimentos superiores aos 6.000 kg/ha, em médias nacionais.

Particularmente após 1995, o Brasil superou todos os principais produtores de trigo no mundo, em termos de ganhos anuais de rendimento. Isso reforça o argumento de que entraves à expansão do cultivo de trigo no Brasil, embora existam, não são exclusivamente de base tecnológica. Temos ambiente natural adequado, estrutura de produção disponível, tecnologia própria, produtores experientes e mercado para o trigo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZZI, G. **Aspecto ecológico do trigo no Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1937. 19 p.
- ALLEN, G. R. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 326 p. (FAO irrigation and drainage paper, n. 45).
- BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.
- CUNHA, G. R. da; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V. Enso influences on wheat crop in Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 127-138, 1999.
- CUNHA, G. R.; SCHEEREN, P. L.; SÓ e SILVA, M. **Granizo e cereais de inverno no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 24 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 33).
- CUNHA, G. R. et al. **Regiões de adaptação para trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica online, 20). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p\\_ci20.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci20.htm)>. Acesso em: 27 fev. 2009.
- CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F. (Ed.). **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 320 p.
- CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A. E. Busca da melhoria da eficiência no uso de recursos do ambiente. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 16, n. 105, 16-20, 2008.
- FELDMAN, M. Origin of cultivated wheat. In: BONJEAN, A. P.; ANGUS, W. J. **The world wheat book: a history of wheat breeding**. Paris: Lavoisier, 2001. p. 3-56.
- FISCHER, R. A. Number of kernels in wheat and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 105, p. 447-461, 1985.
- GUERRA, A. F. et al. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 15 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 100).
- MOTA, F. S. Regiões climáticas para o trigo no Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 772-776, 1969.
- RODRIGUES, O. et al. **Modelo para previsão de estádios de desenvolvimento em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 11 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica online; 5). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_ci05.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci05.htm)>. Acesso em: 27 fev. 2009.
- SLAFER, G. A. Differences in phasic development rate among wheat cultivars independent of responses to photoperiod and vernalization. A viewpoint of the intrinsic earliness hypothesis. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, n. 126, p. 403-419, 1996.
- SLAFER, G. A.; RAWSON, H. M. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. **Australian Journal of Physiology**, Victoria, v. 21, p. 393-425, 1994.
- SLAFER, G. A. et al. Photoperiod sensitivity during stem elongation phase as an avenue to rise potential yield in wheat. **Euphytica**, Amsterdam, v. 119, p. 191-197, 2001.
- SILVA, A. R. **Melhoramento das variedades de trigo destinadas às diferentes regiões do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1966. 82 p.
- STOSKOPF, N. C. **Cereal grain crops**. Reston: Printice-Hall Company, 1985. p. 22-45.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- VAN GINKEL, M.; OGBONNAYA, F. Novel genetic diversity from synthetic wheats in breeding cultivars for changing production condition. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1/3, p. 86-94, 2007.
- WESTPHALEM, S. L. Evapotranspiração máxima de uma cultivar precoce de trigo em evapotranspirômetro tipo Thornthwaite e relações com tanque classe A e radiação solar. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1983, Campinas. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1983. p. 49-50.



# TRITICALE

*Foto: Marek Luty*





## 1. INTRODUÇÃO

O triticale faz parte da família Poaceae, subfamília Pooideae, tribo Triticeae e subtribo Triticineae. O nome científico é *X Triticosecale* Wittmack. Este cereal de inverno, que é o primeiro criado pelo homem com impacto econômico significativo, resultou do cruzamento artificial entre o trigo (*Triticum spp.*) e o centeio (*Secale spp.*). Seus aspectos morfológicos, bem como a tecnologia de cultivo, assemelham-se aos do trigo. Por resultar do cruzamento entre plantas de trigo (*Triticum spp.*), que são autógamas, e plantas de centeio (*Secale spp.*), que são, preferencialmente, alógamas, o triticale tem um comportamento misto, com tendência à alogamia, embora seja considerada uma espécie autógama no melhoramento aplicado e na legislação e normas para a produção de sementes. Na prática, esta consideração gerou inúmeros problemas na produção, na certificação de sementes e na manutenção de programas de melhoramento.

A primeira ocorrência deste híbrido interespecífico, resultante de cruzamentos artificiais, foi observada por Alexander Stephen Wilson, em Edimburgo, na Escócia, no ano de 1875, como sucesso da fertilização artificial de trigo com pólen de centeio, que resultou em duas plantas híbridas, com pilosidade próxima à espiga. Entretanto, apesar de ter despertado interesse como curiosidade botânica, o híbrido revelava pouca utilidade prática, pois as plantas eram totalmente estéreis. O melhorista americano Elbert Sillick Carman obteve uma planta híbrida somente a partir de 1883. Este fato foi levado a público por meio de uma publicação original na Rural New Yorker (1884), reeditada por Meinel e Franke (1988), que mostrava o branqueamento perto da espiga, com plantas parcialmente férteis (Oettler, 2005).

A primeira referência sobre um triticale fértil data de 1891, relatando os trabalhos realizados por Wilhelm Rimpau, na Alemanha, em 1888, e a primeira ocorrência de triticales primários verdadeiros, resultantes do cruzamento entre o trigo 'Sächsischer Rother Landweizen' e o centeio 'Sächlanstedter Röggen' (Rimpau, 1891). As sementes dos híbridos de Rimpau, que ainda são mantidas em bancos de germoplasma (Meinel e Franke, 1988), foram fornecidas a vários pesquisadores. Esses híbridos continham 56 cromossomos, confirmados por exames citológicos (Lindschau e Oehler, 1935).

A grande maioria dos triticales atuais é descendente de cruzamentos primários, obtidos a partir de trigos hexaplóides (*T. aestivum*,  $2n = 42$ , AABBDD) ou tetraplóides (*T. durum*,  $2n = 28$ , AABB) cruzados com centeio (*S. cereale*,  $2n = 14$ , RR). No ano de 2005, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), registrou a "BRS Minotauro", o primeiro cultivar de triticale desenvolvido no país, utilizando trigo e centeio brasileiros, realmente adaptados às condições edafoclimáticas de cultivo do sul do Brasil, resultado do cruzamento do Trigo PF 89358 (BR 35\*3//BR 14\*2/LARGO) com Centeio BR1 (Nascimento Junior et al., 2005).

O triticale é uma cultivar de ciclo anual, com hábito de crescimento cespitoso e pertence ao grupo dos chamados cereais. Morfologicamente, a planta, a espiga e o grão são intermediários entre o trigo e o centeio, assemelhando-se mais ao trigo. A planta é verde escura e pode crescer até 1,5m de altura,

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Departamento de Agronomia, Centro de Educação Superior Norte / Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Linha Sete de Setembro s/n, BR386, Km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen, RS. E-mail: fgpilau@smail.ufsm.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, UFSM. E-mail: caron@smail.ufsm.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, UFSM. Email: denises@smail.ufsm.br

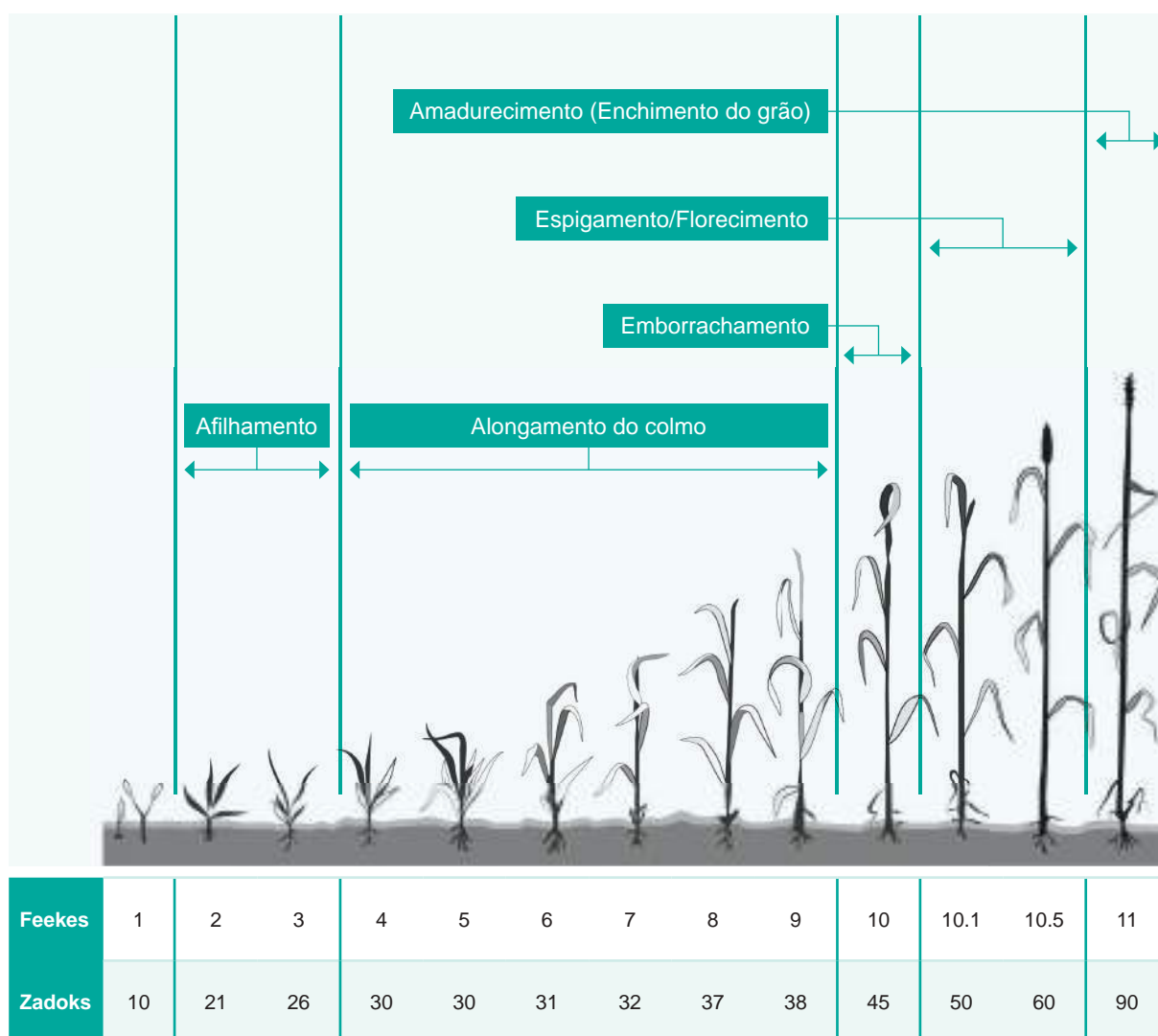
4- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, UFSM. E-mail: velciq@smail.ufsm.br

5- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, UFSM. E-mail: manfronp@smail.ufsm.br



sendo rústica e resistente ao acamamento. Tem duas formações de raízes, ou seja, as primárias, que são as primeiras a surgir, geralmente não apresentando muitas ramificações e, as permanentes, que surgem depois, nos primeiros nós dos colmos, ramificando-se muito e aprofundando-se no solo. Os colmos são herbáceos, em geral eretos e formados por nós e entrenós. As folhas são alternas, longas e finas. As flores surgem na extremidade do colmo, presas a um eixo principal chamado raque. As espigas podem apresentar de 20 a 30 espiguetas, com 3 a 5 grãos. As cultivares brasileiras são aristadas, de coloração clara, apresentando pilosidade nas glumas e no ráquis. O grão é mais longo que o do trigo e com diâmetro maior que o do centeio.

O triticale apresenta os cromossomos das duas espécies que o originaram, podendo combinar características morfológicas semelhantes as do trigo e do centeio, por isso a escala fenológica adotada para o triticale é a mesma adotada para todos os cereais de estação fria (trigo, centeio, aveia e cevada). A escala de Feekes & Large (1954), descrita para trigos de inverno, ainda é amplamente utilizada, embora tenha passado por algumas adaptações, como a de Zadoks (1974), para trigos de primavera, usada em algumas regiões americanas (Figura 1).



Fonte: adaptado de [weedsoft.unl.edu/.../wheat/wheat.htm](http://weedsoft.unl.edu/.../wheat/wheat.htm).

Figura 1. Comparação da descrição de eventos relativos às fases e estádios de desenvolvimento de cereais de inverno, de acordo com a classificação de Feekes & Large (1954) e Zadoks (1974).

Segundo Feekes & Large (1954), o ciclo de vida dos cereais de inverno, que vai desde a germinação até a colheita, pode ser dividido em cinco etapas distintas: afilhamento, crescimento do colmo, espigamento, florescimento e amadurecimento (Tabela 1).

**Tabela 1. Descrição de eventos e marcadores morfológicos, relativos às fases e estádios de desenvolvimento de cereais de inverno, de acordo com a classificação de Feekes & Large (1954).**

Estádio	Marcadores morfológicos	Fase
1	Emergência do coleóptilo e das primeiras folhas.	
2	Início do afilhamento.	
3	Afilhos formados. Folhas frequentemente torcidas, espiralizadas.	Afilhamento
4	Início da ereção do pseudocolmo (formado pelas bainhas).	
5	Pseudocolmo ereto.	
6	Primeiro nó do colmo visível.	
7	Segundo nó do colmo visível.	
8	Folha bandeira visível.	Crescimento do colmo
9	Lígula da folha bandeira visível.	
10	Emborrachamento.	
10.1	Primeira espiga recém-visível escapando da bainha.	
10.2	1/4 do espigamento completo.	
10.3	1/2 do espigamento completo.	Espigamento
10.4	3/4 do espigamento completo.	
10.5	Todas as espigas fora da bainha.	
10.5.1	Início do florescimento.	
10.5.2	Florescimento completo na parte apical da espiga	Florescimento
10.5.3	Florescimento até a base da espiga	
10.5.4	Florescimento completo; Início da formação do grão.	
11.1	Grão leitoso.	
11.2	Conteúdo do grão macio e úmido (massa mole).	
11.3	Grão duro (massa dura).	Amadurecimento
11.4	Ponto de colheita; Grão maduro; Palha morta.	

A escala de Zadoks (1974) é bem mais complexa e está baseada em 10 fases do crescimento, subdivididos em 99 estádios (Tabela 2).

**Tabela 2. Resumo da descrição das fases e estádios de desenvolvimento de cereais de inverno, de acordo com a classificação de Zadoks (1974).**

Fase	Estádio
Germinação	Z0 a Z9
Crescimento de plântula	Z10 a z19
Afilhamento	Z20 a z29
Alongamento do caule	Z30 a z39
Emborrachamento	Z40 a z49
Surgimento da espiga	Z50 a z59
Florescimento	Z60 a z69
Desenvolvimento do grão leitoso	Z70 a z77
Desenvolvimento do grão duro	Z80 a z87
Amadurecimento	Z90 a z99

Com relação à duração do ciclo de desenvolvimento das cultivares de triticale no Brasil, classifica-se conforme a caracterização bioclimática, dividindo nos grupos a seguir.

- Superprecoce, com ciclo de até 120 dias. Exemplo: CEP 15;
- Precoce, com maturação de 121 a 130 dias. Exemplo: IAC 3, Embrapa 53, BRS 148, BRS 203 e BRS Ulisses;
- Médio, com maturação de 131 a 140 dias. Exemplo: IAC 1, IAC 2, e BRS Minotauro.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade hídrica

Imprescindível à atividade agrícola e de grande oscilação espaço-temporal, a precipitação pluvial, principal fonte de água para a atividade agrícola, é o elemento climático responsável pelas maiores oscilações de produção. Para superar sua falta, lança-me mão da irrigação, porém, sem alternativas quando o problema relaciona-se ao excesso hídrico.

A disponibilidade de água para uma cultura, ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, está estreitamente relacionada à produtividade final, seja na forma de grãos, massa verde ou seca, raízes e, por isso, tornando-se uma área de exaustivos estudos científicos, por parte da Agrometeorologia.

Com a finalidade de proporcionar sustentação, nutrição e retenção de água das chuvas, as características dos solos, principalmente físicas, estão diretamente relacionadas com a disponibilidade hídrica às plantas. Solos rasos e arenosos apresentam baixa capacidade de retenção de água, daí a preferência, no zoneamento de risco climático da cultura do trigo, por solos de textura média e argilosa, que apresentam boa drenagem (Cunha et al., 2001), o mesmo que se adota para a cultura do triticale. De maneira geral, o triticale apresenta resultados produtivos mais satisfatórios em solos de composição física média (Castro, 1999), evitando problemas com encharcamento e seus efeitos negativos sobre a produtividade final. Apesar disso, algumas cultivares de triticale têm boa tolerância ao excesso hídrico, apresentando produtividades superiores a outros cereais, mesmo em ambientes desfavoráveis, principalmente em relação ao trigo, surgindo como alternativa de produção em solos de várzea (Felício et al., 2001). Quanto à

necessidade de irrigação, comum na região central do Brasil, pela similaridade com a cultura do trigo, pode-se adotar 40cm como profundidade efetiva do sistema radicular (Pires et al., 1991).

A evapotranspiração de qualquer cultura é variável ao longo de seus diferentes estágios de desenvolvimento, dependendo da disponibilidade hídrica do solo e dos elementos climáticos. Martyniak (2008) apresentou o requerimento potencial de água da cultura do tritcale, de acordo com dados de 330 experimentos realizados ao longo de 25 anos, na Polônia. Em função das condições climáticas, a evapotranspiração total da cultura, ao longo do ciclo de desenvolvimento, oscilou entre os 212mm e 401mm, obtendo-se valores médios, para a fase de emergência, iguais a 2,0mm/dia, para o afilhamento, de 3,5mm/dia, para as fases de espigamento e grãos leitosos, de 4,4mm/dia e de 4,5mm/dia, respectivamente, e, finalmente, reduzindo para 1,6mm/dia, na fase de maturação, valores muito similares aos obtidos para trigo e a cevada.

A partir do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que expressa a razão entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência, torna-se mais simples executar tarefas tais como o manejo de irrigação. Doorenbos & Kassam (1979) apresentam valores de  $K_c$ , para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do trigo, servindo, ao mesmo tempo, para a cultura do tritcale (Tabela 3).

**Tabela 3. Coeficientes de cultura,  $K_c$ , para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura do trigo.**

Coeficiente	Estádios de desenvolvimento				
	Afilhamento	Crescimento do colmo	Espigamento	Florescimento	Maturação
$K_c$	0,3 – 0,4	0,7 – 0,8	1,05 – 1,20	0,65 – 0,75	0,20 – 0,25

Em condições normais de cultivo de campo, sem irrigação, a oscilação temporal entre os períodos chuvosos promove modificações no armazenamento hídrico do solo, podendo, em períodos de estiagem prolongada, alcançar níveis de deficiência hídrica severa e resultar em forte penalização da produtividade. Na tentativa de simular a perda produtiva causada por falta de água, a base de diversos modelos agrometeorológicos de estimativa de rendimento, está alicerçada nas relações produtividade real / produtividade potencial ( $Y_r/Y_p$ ) e evapotranspiração real / evapotranspiração máxima da cultura ( $E_r/E_m$ ), corrigidas por coeficientes de sensibilidade à deficiência hídrica ( $k_y$ ), variáveis com as fases de desenvolvimento da planta (Jensen, 1968; Doorenbos & Kassam, 1979). Para a cultura do trigo, extensivo ao tritcale, os períodos de crescimento, sensíveis ao déficit hídrico, apresentam a seguinte sequência: período de floração > período de formação da colheita > período vegetativo, com os valores de  $k_y$  mostrados na Tabela 4 (Doorenbos & Kassam, 1979).

**Tabela 4. Fator de resposta da cultura à deficiência hídrica ( $k_y$ ), nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura do trigo.**

Coeficiente	Período vegetativo total	Período de floração	Formação da colheita	Período total de crescimento
$k_y$	0,2	0,65	0,55	1,15

O período fenológico compreendido entre a floração e o enchimento de grãos, por ser o mais sensível ao déficit hídrico, tem servido como referencial para a delimitação das áreas aptas e de baixo risco climático aos cultivos do trigo e do tritcale (Cunha et al., 2001). De acordo com estes autores, tal regionalização, baseada na relação  $E_r/E_m$ , também denominada de Índice de Satisfação das

Necessidades de Água (ISNA), justamente nas fases de alta evapotranspiração e maior sensibilidade à seca (floração e enchimento de grãos), está assim estabelecida:

- áreas inaptas sem irrigação - ISNA inferior a 0,60;
- áreas aptas sem irrigação, com problemas de seca em alguns casos - ISNA entre 0,6 e 0,85;
- áreas aptas sem irrigação e sem problemas de seca - ISNA superior a 0,85.

## 2.2 Temperatura

As cultivares de triticale, por meio de melhoramento genético, perderam a alta sensibilidade ao fotoperíodo (Mundstock, 1983). Em compensação, ganharam sensibilidade à temperatura do ar durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

O triticale desenvolve-se bem em temperaturas baixas, durante o afilhamento, sendo favorável à ocorrência de geadas no início de seu desenvolvimento, direcionando-se para um maior crescimento de raízes, em detrimento a parte aérea. Além disso, baixas temperaturas promovem uma redução na incidência de pragas e doenças, beneficiando indiretamente a cultura na fase de estabelecimento. Contudo, a temperatura ideal para o pleno desenvolvimento da planta não deve ser muito baixa, pois pode paralisar seu crescimento. De acordo com Fisher (1985) e Doorenbos & Kassam (1979), a temperatura ideal, durante o ciclo de desenvolvimento do triticale, está em torno de 15°C a 25°C. Baixas temperaturas, sem ocorrência de geada, induzem um prolongamento do período vegetativo, promovendo maior emissão de filhotes e a formação de um sistema radicular mais agressivo, profundo, favorecendo a absorção de nutrientes e aumentando a resistência a períodos de estiagem agrícola mais prolongada. Na fase de afilhamento, temperaturas entre os 15°C e 20°C são consideradas excelentes, enquanto, para o desenvolvimento de folhas, a temperatura ideal está entre os 20°C e 25°C. A partir do estágio de alongamento, temperaturas muito baixas, com formação de geadas fortes, poderão provocar a queima de folhas e o estrangulamento do colmo, reduzindo a área fotossintética e interrompendo o fluxo de seiva (Scheeren et al., 2000).

Similar ao trigo, os efeitos das baixas temperaturas são diferenciados, dependendo do estágio de desenvolvimento em que ocorrem. Os danos provocados pela ocorrência de geada, na fase de espigamento e crescimento, podem ser muito severos, resultando numa redução no número de grãos por espigeta e, conseqüentemente, por espiga. Geadas muito intensas (com temperaturas abaixo de -2°C, registradas em abrigo meteorológico), na fase de florescimento, provocam abortamento floral completo, com perdas irreversíveis. Tal temperatura, no estágio de enchimento de grãos, também provoca sérios prejuízos. Na fase de grão leitoso resulta num enchimento incompleto dos grãos (enrugamento), resultando em baixo peso específico, redução no rendimento final de grãos e na qualidade da produção (Scheeren et al., 2000).

Como a duração do ciclo de cereais de inverno, entre eles o triticale, tem se mostrado variável com a temperatura, uma das maneiras usadas para correlacioná-la ao desenvolvimento vegetal tem sido através do uso de sistema de unidades térmicas ou graus-dia, permitindo determinar a temperatura base ou mesmo a duração das fases fenológicas das culturas (Arnold, 1959; Brunini et al., 1976; Camargo, 1987; Cunha et al., 1999; Pedro Júnior et al., 2004).

Com uso da soma térmica, Pedro Junior et al. (2002), para condições do Estado de São Paulo, obtiveram temperatura-base de 8°C para cultivares de ciclo superprecoce e precoce, enquanto, para a cultivar de ciclo médio, a temperatura-base foi superior a 10°C. As necessidades térmicas, para o período emergência-maturação, das cultivares de triticale superprecoce e precoce, utilizando-se a temperatura base de 8°C, foram de 1.172 e 1.263 graus-dia, respectivamente. Entretanto, para a cultivar de ciclo médio, com temperatura-base de 10°C, as necessidades térmicas totalizaram 1.048 graus-dia, para completar o ciclo Yuanshu & Zengyuan (2004).

## 2.3 Radiação Solar

A energia radiante absorvida por uma planta é o principal determinante de sua taxa fotossintética e da perda de água através da transpiração e, juntamente a fatores complementares, como temperatura

do ar e do solo, disponibilidade hídrica e nutrição a mineral, condiciona o crescimento e desenvolvimento vegetal, a produtividade e a qualidade final da produção. O espectro de radiação pode ser dividido em dois grandes grupos, utilizando como referência, nessa divisão, a radiação emitida pelo Sol. Por ser um corpo extremamente quente, o Sol emite comprimentos de onda predominantemente menores que 3.000 nm que, por convenção, são denominados de radiação de onda curta. Desse espectro total, apenas os fótons com comprimento de onda entre 400 e 700 nm tem ação fotossintética.

Produzida nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, semeada entre os meses de abril e junho, a cultura do triticales sofre a influência de massas de ar polar e tropical, que interferem nas condições de temperatura do ar, precipitação pluviométrica, vento e, também, no brilho solar, já que há um aumento da nebulosidade nas estações de outono e inverno. Nos meses de junho e julho, as regiões produtoras registram valores mínimos de insolação mensal, totalizando uma disponibilidade de 150 horas/mês nas áreas do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, centro-sul do Paraná, extremo sul e litoral São Paulo (média de 5 horas/dia), enquanto, nas demais localidades paulistas e no Mato Grosso do Sul, os valores de insolação chegam às 220 horas/mês (média de 7,3horas/dia) (BRASIL, 1992).

Os cereais, em geral, são culturas com grande capacidade de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e, dentre as principais espécies de interesse agrônomo, o triticales apresenta índice de interceptação elevado. Busch et al. (1996), avaliando trocas gasosas na cultura do triticales, apresentam taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> com menos de 50  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA), atingindo aproximadamente 9  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> assimilados num momento de mais de 1800  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de RFA.

Resultados de Giunta et al., (2008) apontam para dados de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, pelo triticales, 11% superior ao trigo, nos estágios de emborrachamento e florescimento. Quanto à eficiência de uso da radiação e ao acúmulo de biomassa, tais pesquisadores indicam o valor de 2,54 gramas de massa seca por MJ (mega-joule) de energia interceptada, comparáveis aos valores de eficiência de uso de 2,52 a 2,08 gramas de massa seca por MJ de energia radiante, determinados por Giunta and Motzo, (2004).

Embora os componentes de rendimento das culturas de grãos sejam gerados ao longo de todo o ciclo de produção, a produtividade final parece ser muito mais sensível às mudanças na disponibilidade de recursos naturais em algumas fases que em outras. Objetivando esclarecer evidências prévias de que uma redução da radiação solar incidente, antes da antese, afetaria negativamente a produtividade final, pela redução do número de grãos por metro quadrado, Willey e Holliday, (1971; Cantarero and Badiali, (1998); Aguirre et al., (2006), Estrada-Campuzano et al. (2008) determinaram o efeito da radiação solar, em diferentes fases de desenvolvimento do triticales, sobre a produção final de grãos. Os resultados demonstram que a redução de rendimento de grãos foi mais significativa quando a cultura foi sombreada durante 3 semanas antes e 1 semana após a antese, comprovando que a redução produtiva deve-se muito mais a uma redução no número de grãos por m<sup>2</sup> em função do menor número de primórdios florais férteis por espiga do que a mudanças no peso médio de grãos. Resultados obtidos por Aguirre et al. (2006) corroboram, demonstrando que a redução da radiação incidente, antes da antese, produziu reduções médias de rendimento de 34% e 51% nas linhagens de triticales avaliadas, e que o sombreamento, após a antese, resultou em reduções produtivas de 13,5% e 14% para os mesmos materiais genéticos. Não se observaram efeitos do sombreamento em pré-antese sobre o peso específico de grãos. Mas, em pós-antese, a falta de radiação produziu uma diminuição no rendimento (média de 14%) e no peso específico (média de 4%), proporcionando, porém, aumento no conteúdo de proteína (média de 21%).

Devido às similaridades com a cultura do trigo, não houve a elaboração de um zoneamento específico para a cultura do triticales no Brasil, utilizando-se as mesmas cartas de aptidão e risco climático elaboradas para o trigo (Mota, 1969; Mota, 1989; Lazzarotto, 1997; Gonçalves et al., 1998; Cunha et al., 2001). Resultados da produtividade de grãos, ao longo das safras, comparados também ao potencial produtivo das lavouras de trigo das regiões produtoras do Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, vêm ratificando tal decisão, observando-se que a disponibilidade de energia radiante, apesar de exercer forte influência, não é restritiva à produção de triticales no país.

## 2.4 Fotoperíodo

Denomina-se fotoperíodo ao intervalo entre os ângulos horários do nascer e pôr-do-sol, ou seja, é o tempo máximo que o Sol permanecerá brilhando acima do horizonte, em um determinado local, numa certa data. Tal fenômeno exerce influencia no desenvolvimento de inúmeras espécies vegetais, diretamente relacionado à indução ao florescimento (Garner & Allard, 1920), sendo importante saber que existem três tipos de plantas quanto às respostas fotoperiódicas:

- plantas de dias curtos (PDC), que florescem com fotoperíodos inferiores ao fotoperíodo crítico;
- plantas de dias longos (PDL), florescendo com fotoperíodos superiores ou iguais ao fotoperíodo crítico;
- plantas neutras ou indiferentes, aquelas que florescem em uma ampla faixa de variação do fotoperíodo.

Em estudos realizados, posteriormente, por Vince-Prue (1975), os tipos de plantas consideradas por Garner & Allard (1920) como sensíveis ao fotoperíodo – plantas de dias curtos e plantas de dias longos – acabaram subdivididas em espécies de resposta absoluta ou qualitativa, significando que a condição fotoperiódica é essencial à indução floral, sem a qual as plantas não florescem e, facultativa ou quantitativa, em que a condição fotoperiódica favorece, mas não é essencial à indução floral.

O denominado “Triticale de Primavera”, produzido no Brasil, difere do “Triticale de Inverno” por dispensar a vernalização (período de frio necessário para uma transição do período vegetativo ao reprodutivo) e pela insensibilidade ao fotoperíodo, característica alcançada por meio de melhoramento genético (Mundstock, 1983).

Durante os primeiros estágios do melhoramento genético do triticale, os tipos de primavera tendiam a ser fotossensíveis, requerendo mais de 12 horas de luz para passar do estágio vegetativo ao reprodutivo, o que impedia a expansão da cultura para regiões de menores latitudes, onde o comprimento do dia é menor. Com o estabelecimento do Programa de Melhoramento da Cultura do Triticale, pelo Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), a partir dos cruzamentos de uma extensa base de germoplasmas de triticale com trigo anão, insensível ao fotoperíodo, o triticale esteve próximo de se tornar uma cultura globalmente adaptada (Krull et al., 1968).

Pesquisada no Brasil desde 1969, existem atualmente 27 cultivares de triticale desenvolvidas por instituições, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e a Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotriga (FUNDA CEP FECOTRIGO), todas registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Tais cultivares apresentam de 130 a 150 dias de ciclo produtivo, da sementeira à maturação, alcançando o espigamente a partir do 70º ao 90º dias, insensíveis ao fotoperíodo, tendo a temperatura do ar como fator de maior influência na duração do ciclo (Pedro Júnior et al., 2004; Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2007).

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva Intensa

O triticale, tal como todas as culturas de ciclo anual, desde a emergência até o ponto de colheita, são sensíveis e susceptíveis aos danos diretos e indiretos causados pela ocorrência de granizo e chuva intensa. A ocorrência de granizo, quase sempre acompanhada de ventos fortes, tem ação mecânica direta sobre a cultura, causando acamamento e quebra de colmos, dilaceração de folhas, destruição da parte aérea da vegetação e debulha de grãos. Danos indiretos do granizo estão relacionados ao aumentando da susceptibilidade à incidência de insetos, fungos e bactérias, que se aproveitam e se instalam nos tecidos dilacerados pelas pedras sólidas de gelo.

Precipitações de granizo, da fase inicial de desenvolvimento até o afilamento, são menos problemáticas, já que há uma considerável capacidade de recuperação, com emissão de novas folhas, não causando maiores prejuízos ao rendimento final de grãos. Após esta fase, coincidindo com a alongação do colmo, o emborrachamento e a emissão da inflorescência, é que os danos tornam-se

mais severos e irreversíveis, afetando também a qualidade dos grãos, já que uma emissão escalonada e forçada de afilhos resulta em grãos verdes e maduros ao mesmo tempo (Berlato et al., 2001; Lyons, 1997; Medina, 1988; Mundstock, 1999; Westphalen, 1973).

Chuvas muito intensas, com grandes volumes em curtos intervalos de tempo, na grande maioria das vezes, acompanhadas de fortes rajadas de vento, causam diversos danos, tais como erosão superficial ou em sulcos, rompimento de curvas de nível ou de terraços, compactação e selamento superficial do solo, danos a lavouras recém semeadas pelo desenterrio das sementes ou compactação do solo, prejudicando a germinação, emergência e formação de adequado dossel de plantas, além de danos mecânicos à vegetação, pela dilaceração de folhas ou debulha de grãos.

### 3.2 Seca e veranico

A insuficiência de precipitação pluviométrica, por um período de tempo capaz de reduzir a umidade do solo a níveis comprometedores ao desenvolvimento e à reprodução das plantas, resultam em danos à cultura, que se agravam conforme a intensidade e duração da estiagem. Em geral, tais danos traduzem-se no enrolamento, na murcha parcial, podendo chegar até o ponto de murcha permanente das folhas, além de degeneração e queda das mesmas, seguindo-se da paralisação do crescimento e definhamento do colmo, do abortamento de flores, de irregularidades na polinização, na fecundação das flores e na formação de grãos, podendo levar à morte da planta.

Com exceção dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e centro-sul do Paraná, a deficiência hídrica é mais frequente e pode ocasionar perdas, em alguns anos, nas lavouras de triticale, no norte e oeste Paranaense, sudeste de São Paulo e sul do Mato Grosso do Sul (Embrapa, 1981). Pela similaridade com o trigo, destaca-se que as fases mais sensíveis à falta de água são, da iniciação floral até o desenvolvimento da inflorescência, a antese e a fertilização, e a formação dos grãos (Slatyer, 1969). Deficiência hídrica, previamente à antese, também afeta o padrão de afilhamento da planta, reduzindo o número e o tamanho dos afilhos (Lawlor et al., 1981). Entretanto, uma das principais vantagens da cultura do triticale é a tolerância à estiagem (Hinojosa *et al.*, 2002). Tal característica é expressa, principalmente, em solos ácidos com presença de alumínio, onde o triticale, pela maior tolerância, apresenta melhor desenvolvimento e funcionamento do sistema radicular, resultando, mesmo sob condição de estresse hídrico, em vantagens na produção de massa e eficiência de uso da água (Zhang et al., 2001; Hinojosa et al., 2002; Hede, 2000).

### 4.3 Vento intenso (ventanias e vendavais)

Ventos intensos são causas de frequentes perdas na agricultura, provocando o acamamento de plantas, quebra de colmos, queda de flores e debulha de grãos. Cleugh et al. (1998) relatam que ventos com velocidades superiores a 14,4 km/h podem provocar mudanças na anatomia e na morfologia das plantas, com influência significativa nos níveis de acamamento.

Para o triticale, apesar de as cultivares apresentarem, em geral, boa resistência ao acamamento, em regiões de ventos mais intensos, onde o risco de acamamento é maior, há recomendação de redução da densidade de semeadura, passando de 400 sementes aptas/m<sup>2</sup> a cerca de 300 sementes aptas/m<sup>2</sup> (Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2007).

### 4.4 Geada

Em média, quando a temperatura mínima registrada no abrigo meteorológico, a 1,5m acima de uma superfície gramada, atinge de 3°C a 4°C (graus Celsius), a temperatura mínima da relva está em torno de 0°C (Grodzki et al., 1996).

Em função da intensidade e da extensão da geada, o fenômeno pode causar sérios danos às plantas, como o rompimento celular e o extravasamento da seiva vegetal, provocando a necrose dos tecidos e, conseqüentemente, perda de partes (folhas, colmos e grãos), morte total da vegetação, e maior susceptibilidade à incidência de pragas e doenças.



Tal como no trigo, nos estádios iniciais de desenvolvimento do triticale, a geada causa poucos danos, pois as partes expostas são apenas as folhas, que apresentam elevada tolerância, já que a planta mantém o seu ponto de crescimento abaixo da superfície do solo, preservando os tecidos dos efeitos do congelamento (Mundstock, 1998). Conforme Rosenberg et al. (1983), a temperatura letal para a fase germinativa seria a de  $-9^{\circ}\text{C}$ , no gramado, ou de  $-5^{\circ}\text{C}$ , no abrigo meteorológico.

Apesar de ser menos susceptível a baixas temperaturas que outros cereais, a cultura do triticale apresenta pequena resistência às geadas, principalmente na fase do espigamento até o início da formação dos grãos. Nestas fases, tal como o trigo, baixas temperaturas podem resultar no estrangulamento nos colmos, com impedimento na circulação da seiva para os grãos, além de diminuir a síntese de fotoassimilados pela queima das folhas. Uma temperatura igual ou inferior a  $-3^{\circ}\text{C}$  pode ser letal à espiga (Scheeren, 1982). Na fase de florescimento, a ocorrência de geada ocasiona o chochamento dos grãos, devido à esterilidade do pólen (Mota, 1982), com danos totais e perdas irreversíveis, a partir de temperaturas iguais ou inferiores a  $-2^{\circ}\text{C}$ , no abrigo meteorológico (Scheeren et al., 2000). Na fase de enchimento de grãos, para a cultura do trigo, Cromey et al. (1998) relataram perdas de rendimento de grãos globais entre 13 e 33%, por efeitos da geada.

#### 4.5 Chuva excessiva e excesso hídrico prolongado

Solos encharcados induzem à falta de oxigenação do sistema radicular das plantas. De acordo com a tolerância de cada espécie, a permanência nessas condições, por tempo prolongado, leva ao apodrecimento parcial ou total do sistema radicular. Como consequência, ocorre debilidade e amarelecimento de folhas, aumento da susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças no sistema radicular ou em toda a planta, alteração do ciclo da cultura, apodrecimento de partes e a morte da planta.

O excesso de chuva, principalmente nos estádios reprodutivos, induz ao aparecimento de doenças na espiga, provocando redução da produção e perda na qualidade de grãos, podendo, inclusive, limitar a sua utilização na alimentação de animais monogástricos, tais como aves e suínos, devido à síntese de micotoxinas nos grãos (Cooper et al., 2004). Esta condição é especialmente observada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com alta frequência de chuvas nos meses de inverno, havendo necessidade de desenvolvimento de genótipos menos susceptíveis as doenças.

Apesar de as cultivares apresentarem resistência de moderada a boa, quanto à germinação de grãos na espiga, o excesso de chuva é um dos principais eventos climáticos adversos enfrentados pela cultura do triticale. Nas regiões produtoras, durante o período da colheita, precipitações pluviais elevadas, durante a época de maturação, determinam a redução do rendimento e do peso do hectolitro de grãos (SILVA, 1971; LUZ, 1982).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, A. et al. Effects of incident radiation and nitrogen availability on the quality parameters of triticale grains in Argentina. **Experimental Agriculture**, Cambridge, 42, p. 311–322, 2006.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, US, v. 74, p. 430-445, 1959.

BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D.C. Risco de ocorrência de granizo no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, DF, 1992. 84 p.

BRUNINI, O. et al. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 19, p. 213-219, 1976.

BUSCH, J. et al.  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  Gas Exchange of a Triticale Field: I. Leaf Level Porometry and Upscaling to Canopy Level. **Physics and Chemistry of the Earth**, Saint Louis, v. 21, n. 3, p. 143-149, 1996.

CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 115-121, 1987.

CANTARERO, M. G.; BADIALI, O. J. J. Modificación de la cantidad de radiación en pre y post anthesis en triticale: Rendimiento en grano y componentes. In: CONGRESO NACIONAL DE TRIGO, 4.; SIMPOSIO NACIONAL DE CEREALES DE SIEMBRA OTOÑO-INVIERNAL, 2.; 1998, Mar del Plata. **Actas...** Balcarce: Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Pesquisa Agropecuaria, 1998.

CLEUGH, H. A.; MILLER, J. M.; BÖHM, M. Direct effects of wind on crops. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 41, p. 85-112. 1998.

- COOPER, K. V.; JESSOP, R. S.; DARVEY, N. L. Triticale in Australia. In: MERGOUM, M.; GOMEZ-MACPHERSON, H. (Ed.) **Triticale improvement and production**. Roma: FAO, 2004. p. 87-92. (FAO plant production and protection paper, n. 179).
- CROMEY, M. G.; WRIGHT, D. S. C.; BODDINGTON, H. J. Effects of frost during grain filling on wheat yield and grain structure. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Thorndon, v. 26, n. 4, p. 279-290, 1998.
- CUNHA, G. R. et al. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 400-414, 2001. Edição especial: Zoneamento Agrícola.
- CUNHA, G. R. et al. Caracterização bioclimática de cevadas brasileiras. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 201-206, 1999.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 306 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 33).
- EMBRAPA. Departamento Técnico Científico. **Programa Nacional de Pesquisa de Trigo**. Brasília, DF, 1981. 100 p.
- ESTRADA-CAMPUZANO, G.; MIRALLES, D. J.; SLAFER, G. A. Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, n. 28, p.597-605. 2008.
- FISCHER, R. A. Physiological limitations to producing wheat in semitropical and tropical environments and possible selectio criteria. In: WHEAT for more tropical environments: Proceedings for the international symposium. México, DF: CIMMYT, 1985.
- GARNER, W. W.; ALLARD, H. A. Effect of the relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. **Journal of Agricultural Research**, Washington, DC, v. 23, p. 871-920, 1920.
- GIUNTA, F.; MOTZO, R. Sowing rate and cultivar affect total biomass and grain yield of spring triticale (*X Triticosecale* Wittmack) grown in a Mediterranean type environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 87, p.179-193, 2004.
- GIUNTA, F.; PRUNEDDU, G.; MOTZO, R. Radiation interception and biomass and nitrogen accumulation in different cereal and grain legume species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 76-84, Jan. 2009.
- GONÇALVES, S. L. et al. Regionalização para épocas de semeadura de trigo no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 239-248, 1998.
- GRODZKI, L. et al. Risco de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.
- HEDE, A. R. A new approach to Triticale improvement. **CIMMYT Research Highlights**, Mexico, DF, p. 21-26, 2000.
- HINOJOSA, M. B. et al. Triticale: an alternative forage crop under rainfed conditions in Chihuahua Mexico. In: INTERNATIONAL TRITICALE SYMPOSIUM, 5., 2002, Radzikow, Poland. **Proceedings...** Radzikow: Plant Breeding and Acclimatization Institute, 2002. Suppl., p. 27. Edited by E. Arseniuk.
- JENSEN, M. E. **Water consumptions by agricultural plant growth**. New York: Academic, 1968. v. 2, p. 1-22.
- KRULL, C. F. et al. Results of the second international spring wheat yield nursery 1965-66. **Research Bulletin (CIMMYT)**, Mexico, DF, n. 11, 1968.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals. **Plant Pathology**, Oxford, v. 3, p. 128-129, 1954.
- LAWLOR, D. W. et al. Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 96, p. 167-186, 1981.
- LAZZAROTTO, C. **Zoneamento agrícola do Mato Grosso do Sul**: cultura de trigo. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1997. 10 p.
- LINDSCHAU, M.; OEHLER, E. Untersuchungen am konstant intermediären additiven Rimpau'schen Weizen-Roggenbastard. **Der Züchter**, Saskatchewan, v. 7, p. 228-233, 1935.
- LUZ, W. C. Efeito da precipitação pluviométrica no rendimento de duas cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 3, p. 351-354, 1982.
- LYONS, W. A. **The handy weather answer book**. Detroit: Visible Ink, 1997. 397 p.
- MEDINA, M. **Iniciación a la meteorología**. 7. ed. Madrid: Paraninfo, 1988. 255 p.
- MEINEL, A.; FRANKE, R. Entstehung, Geschichte und aktuelle Bedeutung des ersten fertilen Weizen-Roggen-Bastardes: des Triticale von W. Rimpau. 1. Mitteilung. **Archiv für Züchtungsforschung**, Berlin, n. 18, p. 180-200, 1988.
- MOTA, F. S. Clima e zoneamento para a triticultura no Brasil. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Trigo no Brasil**. Campinas, 1982. v. 1, p. 27-61.
- MOTA, F. S. **Agrometeorologia do trigo no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Agronomia, 1989, 122 p.
- MOTA, F. S. Regiões climáticas para o trigo no Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 772-776, 1969.
- MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: UFRGS, 1998.
- MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado de lavoura de trigo**. Porto Alegre, 1999. 228 p. Ed. do autor.
- MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria**. Porto Alegre: Editora NBS, 1983. 265 p.
- NASCIMENTO JUNIOR, A. et al. **A cultivar de triticale BRS Minotauro**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 5 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 143). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p\\_co143.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co143.htm)>. Acesso em: 2 fev. 2009.
- OETTLER, G. The fortune of a botanical curiosity-Triticale: Past, present and future. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, n. 143, p. 329-346, 2005.
- PEDRO JÚNIOR, M. J. et al. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 447-453, 2004.
- PIRES, R. C. M. et al. Profundidade do sistema radicular das culturas do feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 153-162, 1991.
- FRONZA, V.; CAMPOS, L. A. C.; RIEDE, C. A. (Org.). Informações técnicas para a safra 2008: trigo e triticale. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 1., 2007, Londrina, PR. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 147 p. (Documentos Embrapa Soja, n. 301).
- RIMPAU, W. Kreuzungsprodukte landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. **Landwirtschaftliche Jahrbücher**, Berlin, v. 20, p. 335-371, 1891.
- SCHEEREN, P. L. Danos de geada em trigo: avaliação preliminar de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 6, p. 853-858, jun.1982.
- SCHEEREN, P. L. et al. **Efeito do frio em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 2 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 57). Disponível em:<[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co57.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co57.htm)>. Acesso em: 2 fev. 2009.
- SILVA, A. R. da. **Trigo no sul de Mato Grosso**. Sete Lagoas: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Oeste, 1971. 24 p.
- SLATYER, R. O. Physiological significance of internal water relations to crop yield. In: EASTIN, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; VAN BAVEL, C.H.M. **Physiological aspects of crop yield**. Madison: ASA/CSSA, 1969. p. 53-83.

---

VINCE-PRUE, D. **Photoperiodism in plants**. London: McGraw Hill, 1975. 444 p.

---

WESTPHALEN, S. L. **Granizo e a lavoura de trigo no RS**. Porto Alegre: FECOTRIGO, 1973. 5 p.

---

WILLEY, R.; HOLLIDAY, R. Plant population, shading and thinning studies in wheat. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 77, p. 453–461, 1971.

---

YUANSHU, S.; ZENGYUAN, W. Triticale developments in China. In: MERGOUM, M.; GOMEZ-MACPHERSON, H. (Ed.). **Triticale improvement and production**. Roma: FAO, 2004. p. 103-108. (FAO plant production and protection paper, n. 179).

---

ZADOKS J. C.; CHANG T. T.; KONZAK C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Oxford, n. 14, p. 415-421, 1974.

---

ZHANG, X. G. et al. Differential responses to water regimes in triticale genotypes differing in aluminium tolerance. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 10., 2001. **Proceedings...** Adelaide: Australian Society of Agronomy, 2001.

*PARTE II*

# **CULTIVOS PERMANENTES**



# ACÁCIA NEGRA

Foto: Slavomir Ulicny





# Acácia-negra

---

Rosana Clara Victoria Higa<sup>(1)</sup>  
Marcos Silveira Wrege<sup>(2)</sup>  
Silas Mochiutti<sup>(3)</sup>  
Admir Lopes Mora<sup>(4)</sup>  
Antonio Rioyei Higa<sup>(5)</sup>  
Augusto Arlindo Simon<sup>(6)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) é a terceira espécie florestal mais plantada no Brasil, superada apenas por espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (SBS, 2006). É plantada comercialmente no Rio Grande do Sul, onde representa significativa parcela dos reflorestamentos do Estado. Além do uso como matéria-prima para tanino, celulose e carvão, apresenta, ainda, grande importância social, por ser plantada em pequenas propriedades, beneficiando milhares de famílias na região. Também é usada em plantios consorciados no início da cultura e, após três anos de idade, a área é usada como pastagem do gado, que se alimenta da vegetação do sub-bosque (MORA, 2002).

O primeiro plantio comercial, no Brasil, foi feito em 1930, quando foram importados 30 kg de sementes da África do Sul. Acredita-se que, até meados de 1980, todos os plantios tenham sido originários desse material (OLIVEIRA, 1968).

No Brasil, a plantação de acácia-negra tem característica multifuncional, ou seja, tem ação recuperadora dos solos de baixa fertilidade, através da fixação de nitrogênio, permite o plantio consorciado de culturas agrícolas e presta-se à criação de gado em seu interior. De suas árvores, utiliza-se a casca e a madeira, para fins industriais (TANAC, 199-a).

Historicamente, os primeiros plantios se concentraram em áreas próximas à encosta da Serra Gaúcha. Nas décadas de 1970 e 1980, os plantios foram realizados em áreas da Depressão Central e, mais recentemente, além dessas duas regiões, a acácia-negra vem sendo plantada, também, em áreas da Serra do Sudeste ou Escudo Sul-riograndense. Tais regiões caracterizam-se por maior concentração fundiária, tendo 58% da área total ocupada por propriedades de áreas superiores a 200 ha, que representam 5% das propriedades rurais (IBGE, Censo Agropecuário 1995-1996). Pela quantidade de mudas produzidas, estima-se que são plantados, anualmente, 30 mil hectares com acácia-negra (SIMON, 2005), tendo alcançando, em 2005, área total de 156.377 ha (ABRAF, 2006).

### Usos

Acácia-negra é historicamente reconhecida pela qualidade de sua casca, de onde são obtidos os extratos vegetais, ricos em tanantes e fenóis, que originam os taninos, largamente utilizados no curtimento de peles, constituindo-se no mais conhecido grupo de produtos obtidos a partir da casca. Pode-se obter, também, os floculantes, utilizados em processos de tratamento de água e que, por sua origem vegetal, não apresentam os inconvenientes e contraindicações dos similares de origem química, além de dispersantes, usados como aditivos nos processos onde é necessária a aspersão de líquidos, os adesivos e resinas, à base fenólica, destinados, principalmente, às indústrias que utilizam madeiras, bem como componentes destinados à produção de agentes anticorrosivos (Ciclo da industrialização da acácia-negra [198]).

Em termos de rendimento de tanino, por árvore, e de qualidade relacionada à composição e

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Florestas, Estrada da Ribeira, km 111, C.P. 319, Colombo, PR, CEP 83411-000. E-mail: rhiga@cnpf.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Florestas. E-mail: wrege@cnpf.embrapa.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Amapá. E-mail: silasmochiutti@cpafap.embrapa.br

4- Eng. Florestal, Norske Skog. E-mail: admir.mor@norskskog.com

5- Eng. Florestal, Professor, Antonio Rioyei Higa. Universidade Federal do Paraná. E-mail: higa@ufpr.br

6- Eng. Florestal, Tanagro S.A. E-mail: aasimon@tanac.com.br



coloração, a espécie é uma das melhores. Em função disso, é a principal fonte de casca para a indústria de taninos vegetais no mundo. *A. decurrens* tem, aproximadamente, o mesmo rendimento de tanino e, *A. pycnantha* é ainda superior à *A. mearnsii*, mas ambas as espécies proporcionam extratos de maior coloração e, quando utilizados para curtir, os produtos resultantes são mais escuros (SHERRY, 1971).

A madeira da acácia-negra pode ser utilizada para diferentes finalidades (GONZAGA et al., 1982), isto é, na indústria de celulose, como madeira aglomerada, e lenha, na secagem de grãos, fumo, padarias e olarias, além do uso doméstico (TONIETTO & STEIN, 1997). É, também, matéria-prima de boa qualidade para a produção de celulose *kraft*, com rendimentos, propriedades óticas e físico-mecânicas adequadas.

Até vinte anos atrás, a casca constituía-se no principal produto da acacicultura e a madeira era utilizada, principalmente, para energia. Atualmente, toda a produção de casca ainda é destinada para produção de taninos, entretanto, devido à redução de seu valor de mercado, é considerado um produto secundário, utilizado pelos pequenos produtores para custear as despesas de corte e descascamento da madeira (Figura 1). A produção de casca, em 2004, foi de 242 mil toneladas (IBGE, 2004a).

A madeira ganhou espaço no mercado, com utilização para aglomerados e celulose, tendo alcançado grande valorização com a instalação, em 1995, de indústrias processadoras e exportadoras de cavacos. Praticamente, toda a madeira produzida com diâmetro acima de 6 cm é destinada para estas indústrias, constituindo-se na principal fonte de rendimento dos produtores. Em 2005, as exportações de cavacos de acácia-negra alcançaram 899 mil toneladas (BRASIL, 2006).



Figura 1. Colheita de casca e madeira de acácia-negra.

### Características da planta

Segundo TURNBULL; MIDGLEY; COSSALTER (1998), as 1.200 a 1.300 espécies do gênero *Acacia* (Família Mimosácea) estão distribuídas naturalmente pelo mundo, exceto na Europa e Antártida. O gênero é característico de regiões climáticas áridas e semi-áridas, embora comum

em muitas regiões subúmidas. Existem poucos representantes na região úmida, sendo raramente representado nas florestas tropicais e campos. O gênero *Acacia* é dividido em três grandes subgêneros: *Acacia* (120-130 espécies), *Aculeiferum* (180-190 espécies) e *Phyllodineae* (940 espécies).

A seção *Botrycephalae* inclui 36 espécies de subgênero *Acácia*, originárias da Austrália. A maioria das espécies desse grupo é de vida curta, cerca de 10 a 15 anos. É nessa seção que se acham as espécies de maior potencial silvicultural (BOLAND, 1985). Entre as características dessa seção, destaca-se a presença de folhagem bipinada, até a maturidade. A diferença com as acácias africanas é que estas são sempre verdes e não apresentam espinhos. Todas as espécies crescem em áreas mais frias e úmidas do sudeste Australiano, ocupando, geralmente, uma posição sociológica secundária às florestas de *Eucalyptus* (TURNBULL, 1987; BOLAND, 1987).

*Acacia mearnsii* De Wild., ou acácia-negra, ocorre naturalmente no sudeste da Austrália, especialmente na região costeira, em declives adjacentes aos planaltos da região de Sydney, no Estado de Nova Gales do Sul, até o extremo sudeste do Estado da Austrália do Sul e em áreas de baixa e média altitude do Estado da Tasmânia.

*Acacia mearnsii* é um arbusto de grande porte ou uma pequena árvore, comumente com altura entre 6 e 10 m, podendo, contudo, atingir até 15 m. Apresenta um caule principal, geralmente reto e dominante. Nas árvores adultas, a casca é variável, geralmente preto-amarronzada, dura e fissurada. Em árvores mais jovens e na parte superior das adultas, a casca é mais fina, lisa e de coloração mais clara. A folhagem adulta é de cor verde-escura, daí o nome acácia-negra, com brotos suavemente amarelos. As folhas são bipinadas, com 8 a 21 pares de pinas, cada um com 15 a 70 pares de folíolos. Estes medem 1,5 a 4,0 mm de comprimento por 0,5 a 0,7 mm de largura. A folhagem das mudas apresenta de 4 a 8 pares opostos de pinas, de coloração verde-escuro, e cada pina é formada por 20 a 25 pares de folíolos oblongos. As inflorescências são panículas terminais hermafroditas, de cor amarelo-creme. A floração na Austrália ocorre entre outubro e dezembro, principalmente, em novembro. Os frutos são legumes mais ou menos retos, finamente peludos, compridos entre as sementes, medindo entre 5 a 15 cm de comprimento por 4 a 8 mm de largura, e amadurecem, de 12 a 14 meses após a floração. Cada legume contém entre 1 e 14 sementes de cor negra, ovóide, de 3 a 5 mm de comprimento por 2 a 3,5 mm de largura, que se caracterizam por apresentar um arilo terminal curto, de cor creme. A madeira apresenta alborno muito claro, cerne marrom-claro, com marcas avermelhadas, muito duro e resistente. A textura é boa, mas comumente com grã reversa ou entrelaçada, com durabilidade baixa a moderada. A densidade básica é de, aproximadamente, 800 kg.m<sup>-3</sup> (BOLAND *et al.*, 1984).

A cultura da acácia-negra é de ciclo curto, com colheitas em torno do sétimo ano de idade. Pela grande demanda de madeira e casca ou pela necessidade financeira dos agricultores, ocorrem cortes das plantações a partir do quinto ano (MANTOEFEL, 1991).

Ao contrário das espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que tiveram significativos aumentos de produtividade nas últimas décadas, pelo investimento expressivo em novas tecnologias (JUVENAL & MATOS, 2002), a produtividade das plantações da acácia-negra, nas pequenas propriedades rurais, tem se mantido nos mesmos patamares desde o estabelecimento dos primeiros plantios comerciais, na década de 1930, em decorrência do pouco aprimoramento dos sistemas de produção.

STEIN & TONIETTO (1997) relatam rendimentos médios, em plantios comerciais, de 175 st ha<sup>-1</sup> de madeira para cavaco, 18 st ha<sup>-1</sup> de lenha e, 15,8 t ha<sup>-1</sup> de casca verde. MORA (2002), numa revisão sobre produções obtidas em diversas plantações no Rio Grande do Sul, cita produções de madeira de 22,8 a 31,4 st ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e, de casca, de 10,5 a 19,0 t ha<sup>-1</sup>.

Recentemente, tem sido conduzido um trabalho de melhoramento genético da espécie, com a introdução de material genético da origem, para a formação de pomares de sementes (HIGA & RESENDE, 1994; MORA 2002). O uso de sementes melhoradas, geneticamente, tem contribuído para incrementar a produção florestal nos sistemas de produção de alguns pequenos produtores rurais. Entretanto, estes ganhos dependem da utilização de práticas silviculturais adequadas (MOCHIUTTI, 2007).

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

Acácia-negra é uma espécie de rápido crescimento, que alcança taxa máxima entre 3 e 5 anos de idade. São escassas as informações sobre os condicionantes agrometeorológicos da produtividade desta espécie, sendo as informações disponíveis derivadas de observações do desenvolvimento da cultura em diferentes ambientes climáticos.

A região de origem da acácia-negra, situada entre as latitudes 34° e 43° S, apresenta altitudes variáveis, desde o nível do mar até 850 m. O clima da região de origem é úmido e subúmido, frio e moderadamente quente, com temperaturas médias do mês mais quente entre 25 e 28° C e, médias mínimas do mês mais frio, entre 0 e 5° C. A planta não se desenvolve em áreas com vários dias de temperaturas superiores aos 40° C (BOLAND *et al.*, 1984).

As informações sobre as exigências climáticas da espécie, tanto no local de origem quanto em plantações, foram analisadas por BOOTH (1997) e BOOTH & JOVANOVIĆ (1988). Os autores indicaram, para a espécie, limites de adaptabilidade climática em nível mundial. Baseando-se nesses critérios e adicionando observações realizadas no Brasil, foram elaborados mapas de aptidão climática para a espécie. A Figura 2 apresenta as áreas recomendadas para plantio da espécie, sem considerar as condições edáficas. O Mapa em questão considera três áreas:

**1. Não favoráveis:** áreas de maior altitude e com temperaturas médias, das máximas, mais elevadas. Embora a espécie, no local de origem, suporte geadas com temperaturas inferiores às observadas na Região Sul do Brasil, as plantações aqui realizadas têm sofrido danos consideráveis ante a ocorrência deste evento climático. Sabe-se que as oscilações de temperatura, no Sul do Brasil, são mais pronunciadas. Grandes variações podem ser observadas em alguns dias, ou até mesmo, em algumas horas. Isto faz com as plantas, principalmente as introduzidas, não consigam se aclimatar, como ocorre no local de origem e, dessa forma, tornam-se vulneráveis. No caso de plantas mais jovens, os danos podem ser ainda maiores, podendo ocorrer até a morte, causando grandes prejuízos econômicos. Temperaturas elevadas também podem causar a morte prematura da acácia-negra, além de acarretar, normalmente, baixa produtividade e de aumentar a incidência de doenças, como a gomose.

**2. Intermediária:** é possível o cultivo da acácia-negra nessas áreas, mas os riscos são maiores e, dependendo das condições de solo, a produtividade pode ser bastante afetada. Essas áreas são, na sua maioria, de altitudes intermediárias, parte da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul e regiões litorâneas dos Estados do Paraná e de Santa Catarina. O maior risco é a ocorrência de geadas atípicas, aquelas que ocorrem precocemente ou tardiamente, ou de temperaturas mais baixas que normalmente observadas na região.

**3. Favoráveis:** áreas onde o plantio da cultura é recomendado. Nelas, as condições de solos devem ser consideradas. Embora a cultura se desenvolva em vários tipos de solos, algumas condições, como solos permanente ou temporariamente alagados, devem ser evitadas. Também as condições físicas e químicas do solo afetam a produtividade, tanto quanto o clima. Conforme apontado por MOCHIUTTI (2007), os teores de P, K e da matéria orgânica são os atributos do solo que apresentam relação positiva com o crescimento da acácia-negra, sendo que a necessidade de adubação não está apenas relacionada com a disponibilidade desses nutrientes, mas também com as características físicas do solo, como a profundidade efetiva e a pedregosidade.

As plantações desenvolvem-se bem mesmo em solos rasos e das mais variadas texturas, entre eles o argiloso, porém não toleram solos mal drenados, hidromórficos e muito úmidos, apresentando crescimento reduzido em solos muito ácidos e de baixa fertilidade, quando não adubados (STEIN & TONIETTO, 1997). MAESTRI *et al.* (1987) encontraram respostas positivas à adubação fosfatada em solos de baixa fertilidade.

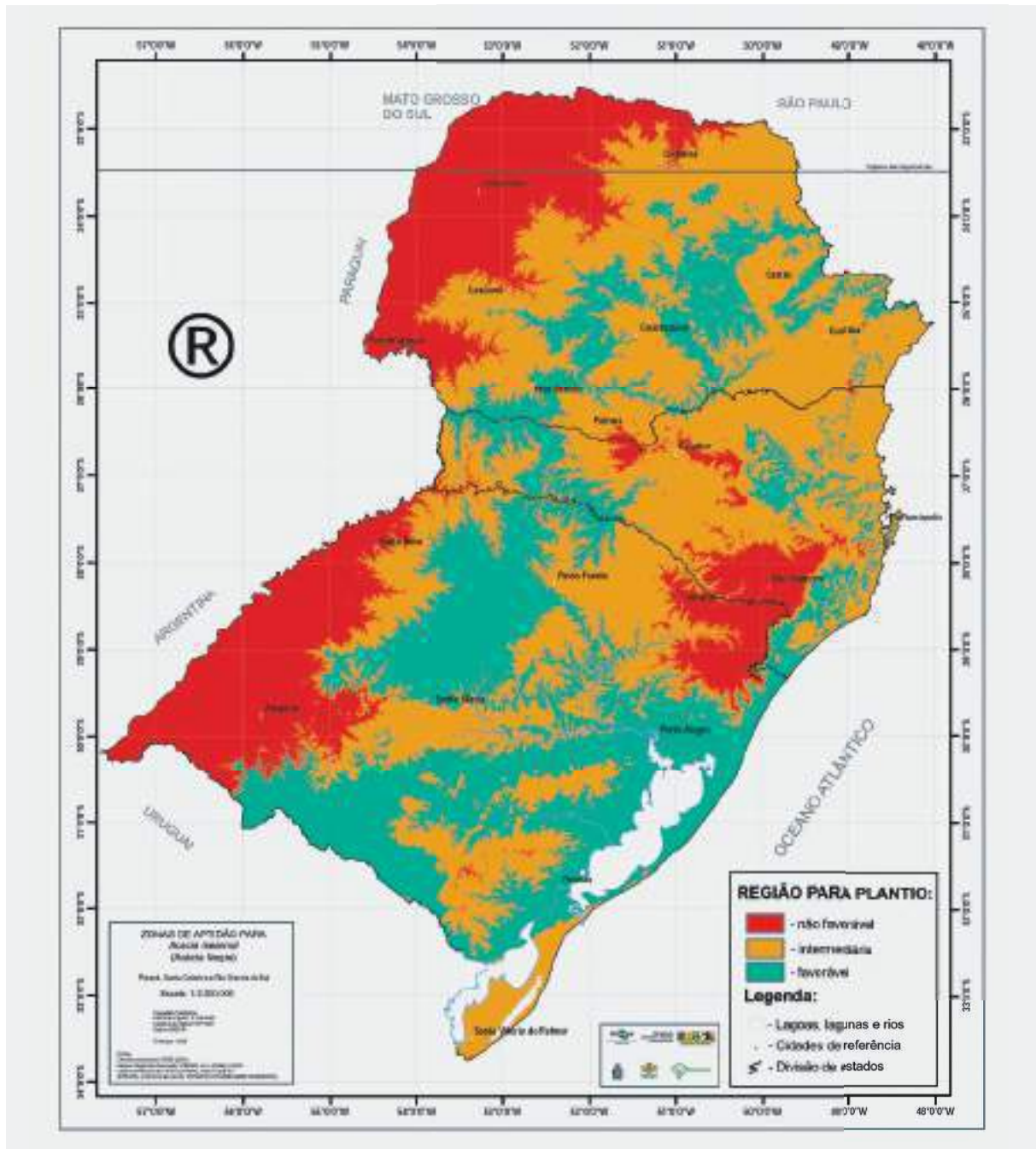


Figura 2. Zoneamento climático de acácia-negra, na Região Sul do Brasil, com regiões favoráveis, intermediárias e não favoráveis.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

Não existem estudos específicos quantificando ou descrevendo os efeitos de eventos adversos sobre o crescimento e a produção desta espécie. Em geral, o que se encontra na literatura são informações gerais, pouco aprofundadas.

A acácia-negra possui sistema radicular superficial, tornando-se susceptível ao tombamento por ação de ventos fortes (KANNEGIESSER, 1990).

No Rio Grande do Sul, não tolera geadas fortes e intensas, tampouco períodos de estiagem, principalmente no primeiro ano após o plantio. HIGA *et al.* (1998) relatam que plantações de acácia-negra foram danificadas, em diferentes intensidades, pelas geadas ocorridas na região de Piratini – RS, em 1995 e 1996.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além do clima e do solo, também deve ser considerado o material genético usado para produção de mudas e plantio, conforme comentado anteriormente. Trabalhos recentes de melhoramento genético, da espécie, têm mostrado potencial, esperando-se, ainda, que grandes ganhos possam ser alcançados com a regionalização destas pesquisas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2005. Brasília:DF, 2006. 80 p.

BOOTH, T. H.; JOVANOVIĆ, T. Climatology of *Acacia mearnsii*. I. Characteristics of natural sites and exotic plantations. **New Forests**, Dordrecht, v. 2, n. 1, p. 17-30, 1988.

BOOTH, T. H. Climatic factors. In: Brown A. G.; Ho, C. K., (Eds). **Black wattle and its utilisation**. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation, 1997. p. 13-17.

BOOTH, T. H., Jones, P. G. Identifying climatically suitable areas for growing particular trees in Latin America. **Forest Ecology and Management**, v. 108, n. 1-2, p. 167-173. 1998.

BOLAND, D. J.; BROOKER, M. I. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINIG, D. A.; TURNER, J. D. **Forest trees of Australia**. Melbourne: Nelson: CSIRO, 1984. 687p.

BOLAND, D. J. Taxonomy of Australian bipinnate acacias: Section Botrycephalae, with a Key to Bipinnate Acacias. In: WORKSHOP ON TAXONOMY AND SEED HANDLING OF AUSTRALIAN TREE SPECIES. 1985, Harare. **Proceedings**. Harare: IDRC. 5p. Disponível em: <www.idrc.ca/library/document> Acesso em 21 set 2001.

BOLAND, D. J. Genetic resources and utilization of australian bipinnate acacias (Botrycephalae). In: AUSTRALIAN ACACIAS IN DEVELOPING COUNTRIES. 1984, Gympie. Canberra: ACIAR, 1987. p. 29-37.(ACIAR **Proceedings**, 16).

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio. **Consulta as exportações de madeira de não coníferas, em estilhas ou em partículas**: período 01/2004 a 12/2005. Disponível em <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br> Acesso em: 14 jul. 2006.

Ciclo da industrialização da acácia negra. Monte Negro: TANAC, [198-].

EQUIPE TÉCNICA TANAGRO. Aspectos técnicos e econômicos do sistema agrossilvipastoril com acácia-negra no Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1992, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CPNF, 1992. p. 211-219. v. 1.

EQUIPE TÉCNICA TANAGRO. **Manejo florestal**: resumo público. Montenegro, s.d. não paginado.

EQUIPE TÉCNICA TANAGRO. **Projeto qualificar**. Montenegro, 2005. não paginado.

FLEIG, F. D. **Avaliação econômica dos sistemas de produção com Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 1993. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

GONZAGA, J. V. MENOCELLI, S.; RECH, B.; BUSNARDO, C. A. FOELKEL, C. E. B. qualidade da madeira de *Acacia mearnsii* na região de Guaíba-RS. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: SBS, 1982 p. 813-820.

GRANT, J. E.; MORAN, G. F.; MONCUR, M. W. Pollination studies and breeding system in *Acacia mearnsii*. In: AUSTRALIAN TREE SPECIES RESEARCH IN CHINA. In: BROWN, A. G. (Ed.). Australian tree species research in China: Proceedings of an international workshop held at Zhangzhou, Fujian Province, PRC, 2-5 November 1992. Canberra: ACIAR, 1994. p. 165-170. (ACIAR. **Proceedings**, 48).

HENDERSON, L. Invasive alien woody plants of Natal and the north-eastern Orange Free State. **Bothalia**, v. 19, n. 2, p. 237-261, 1989.

HIGA, A. R.; RESENDE, M. D. V. Breeding *Acacia mearnsii* in Southern Brazil. In: BROWN, A. G. (Ed.). Australian tree species research in China: Proceedings of an international workshop held at Zhangzhou, Fujian Province, PRC, 2-5 November 1992. Canberra: ACIAR, 1994. p. 158-160. (ACIAR. **Proceedings**, 48).

HIGA, A. R.; MORA, A. L.; STEIN, P. P.; SIMON, A. A. HIGA, R. C. V. Resistencia a heladas en procedencias de *Acacia mearnsii* De Wild plantadas en Rio Grande do Sul, Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO, 1., 1998, Valdivia, **Proceedings...** Valdivia: IUFRO, 1998. 1 CD-ROM.

IBGE. **Censo agropecuário**: Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 1985, v. 2, T. 3, pt. 1.

IBGE. **Mapa exploratório de solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2002. 1 mapa: color. Escala 1:1.000.000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/servidor\_arquivos\_geo> Acesso em: 14 fev. 2006.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2004a. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 14 fev. 2006.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2004b. 1 mapa: color. Escala 1:5.000.000. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/servidor\_arquivos\_geo> Acesso em: 14 fev. 2006.

IBGE. Espécies invasoras. In: **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: Dimensão ambiental: biodiversidade. Rio de Janeiro, 2004c. p. 124-134. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/biodiversidade.pdf> Acesso em 22 fev. 2005.

IBGE. **Censo agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> Acesso em 14 Fev. 2006.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, 2002.

KANNEGIESSER, U. Apuntes sobre algunas acacias australianas: 1. *Acacia mearnsii* De Willd. **Ciencia e Investigación Forestal**, v. 4, n. 2, p. 198-212, 1990.

KENRICK, J.; KNOX, R. B. Quantitative analysis of self-incompatibility in trees of seven species of *Acacia*. **Journal of Heredity**. Oxford, n. 80, p. 240-245, 1989.

LOWE, S.; BROWNE, M.; BOUDJELAS, S.; DEPOORTE, M. **100 of the world's worst invasive alien species**: a selection from the Global Invasive Species Database. Auckland: ISSG/SSC/IUCN, 2004.

- MAESTRI, R.; GRAÇA, L. R.; SIMÕES, J. W.; FREITAS, A. J. P. Análise da adubação fosfatada na produção física e econômica da acácia-negra. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 14, p. 39-53, 1987.
- MANTOEFEL, J. C. Reflorestamento no setor privado: Acacicultura. In: SEMINÁRIO SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1; 1991, Santa Maria, **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1991. p. 108-114.
- MARTINS-CORDER, M. P.; BORGES, R. Z.; BORGES JUNIOR, N. Fotoperíodismo e quebra de dormência em sementes de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 71-77, 1999.
- MORA, A. L. **Aumento da produção de sementes geneticamente melhoradas de *Acacia mearnsii* De Wild. (Acácia negra) no Rio Grande do Sul.** Curitiba, 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MOCHIUTTI, S. **Produtividade e sustentabilidade de plantações de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul.** Curitiba, 2007. 270 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- OLIVEIRA, H. A. **Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul.** Canoas: La Salle. 1968.
- PIETERSE, P. J.; BOUCHER, C. Is Burning a Standing Population of Invasive Legumes a Viable Control Method? Effects of a Wildfire on an *Acacia mearnsii* Population. **Southern African Forestry Journal**, n. 180, p. 15-21. 1997.
- SANTOS, A. F.; GRIGOLETTI JUNIOR, A.; AUER, C. G.; QUEIROZ, D. L. **O complexo gomose da acácia-negra.** Colombo: Embrapa Florestas, 2001.
- SBS. Fatos e Números do Brasil Florestal.** Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2006. Disponível em: <www.sbs.org/Fatos e Números.pdf>. Acesso em: dez. 2006.
- SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M. Crescimento da acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild. em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.
- SHERRY, S. P. **The Black Wattle (*Acacia mearnsii* De Wild.).** Pietermaritzburg: University of Natal Press, 1971. 402 p.
- SIMON, A. A. A cadeia produtiva da acácia-negra, aspectos econômicos, sociais e ambientais. In: STROHSCHOEN, A.G.; REMPEL, C. **Reflorestamento e recuperação ambiental: Ambiente e tecnologia: o desenvolvimento sustentável em foco.** Lajeado: UNIVATES, 2005. p. 149-166.
- SMITH, C. W.; LITTLE, K. M.; NORRIS, C. H. The effect of land preparation at reestablishment on the productivity of fast growing hardwoods in South Africa. **Australian Forestry**, v. 64, n. 3, p. 165-174, 2001.
- SOTTA, E. D. **Avaliação dos danos causados pela gomose em acácia-negra.** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 15 p. Relatório técnico. Não publicado.
- STEIN, P. P.; TONIETTO, L. Black wattle silviculture in Brazil. In: BROWN, A. G.; KO, H. C. (Ed.). **Black Wattle and its Utilisation.** Barton: RIRDC, 1997. p. 78-82.
- TONIETTO, L.; STEIN, P. P. Silvicultura da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Brasil. **Florestar Estatístico**. V. 4, n. 12, p. 11-16, Nov. 1996/out/1997.
- TURNBULL, J. W. Summary of discussions and recommendations. In: AUSTRALIAN ACACIAS IN DEVELOPING COUNTRIES. proceedings of a international workshop held Gympie. 1984. Canberra: ACIAR, 1987. p. 7-9. (**Proceedings**, 16)
- TURNBULL, J. W.; MIDGLEY, S. J.; COSSALTER, C. Tropical acacias planted in Asia: an overview. In: RECENT DEVELOPMENT IN ACACIA PLANTING: proceedings of a international workshop held in Hanoi, Vietnam, 1997. Canberra: ACIAR, 1998. 383 p. (**ACIAR Proceedings**, 82)





# BANANA

*Foto: Juerg Steiner*





## 1. INTRODUÇÃO

### Classificação botânica

A bananeira de frutos comestíveis (*Musa* spp.) é uma monocotiledônea da classe Liliopsida, subclasse Liliidae, superordem Lilinae, ordem Zingiberales (Scitamineae), família musaceae, subfamília musoideae, gênero *Musa*, seção eumusa (Silva et al., 2002), originada de cruzamentos interespecíficos entre *Musa acuminata* colla e *M. balbisiana* colla, apresentando, por isso, caracteres das duas espécies (Simmonds, 1973).

### Introdução, expansão no Brasil e importância atual

O Brasil é o segundo produtor mundial de banana, superado apenas pela Índia. A cultura está presente em todas as Unidades da Federação, na grande maioria dos municípios brasileiros, seja na agricultura familiar, para consumo próprio, ou em escala comercial, sendo, o país, o maior consumidor mundial (Icepa, 2002). Em 2004, o Brasil produziu 6.583.564 toneladas, numa área plantada de 508,5 mil hectares, com variação negativa de 3,20% (IBGE, 2007). O cultivo da banana é realizado, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior (Alves, 1999), por grandes, médios e pequenos produtores, sendo 60% da produção proveniente da agricultura familiar (Borges, 2004).

O Estado de São Paulo é o maior produtor nacional de bananas, colhendo cerca de 1,1 milhões de toneladas de frutos por ano, em 55 mil hectares, dos quais, aproximadamente, 70% encontram-se no Vale do Ribeira (IBGE, 2008). Destaca-se, também, a recente expansão da bananicultura para o Planalto Paulista, onde áreas, com cultivos tradicionais (café, pastagem, etc.), têm na fruticultura alternativa de alta rentabilidade e que traz importantes benefícios sociais, como geração de empregos e manutenção de pequenos agricultores na zona rural.

De acordo com Brasil (2006), o País exportou 2,84% de toda a produção em 2004. Esta pequena participação no mercado externo é devida, principalmente, aos altos índices de perdas e ao elevado consumo interno da fruta (Cenargen, 2005). As vendas externas de banana, no ano de 2005, renderam ao Brasil cerca de US\$ 27 milhões, tendo sido os países da União Européia os principais compradores (ROSA et al., 2006).

### Grupos de maturação

A banana é um fruto climatérico, de vida pós-colheita relativamente curta, com mudanças acentuadas durante o amadurecimento, melhorando a qualidade, tornando-se amarela, menos firme e mais doce, por ação da hidrólise do amido em açúcares. Tais processos bioquímicos são controlados pelo etileno, produzido pela própria banana, ou aplicado.

A banana 'Prata' é uma fruta de maturação muito rápida. Para transportá-la a mercados consumidores mais distantes, ou regular sua oferta, pode-se lançar mão de técnicas que aumentem sua vida útil pós-colheita. Existem algumas alternativas, tais como armazenamento refrigerado (AR), atmosfera modificada (AM) e atmosfera controlada (AC). Para melhorar ainda mais a conservação da banana 'Prata', pode-se associar estas formas de armazenamento com a eliminação do etileno, fazendo-o por meio de absorvedores químicos ou conversores catalíticos, que são os métodos mais eficientes (Brackmann et al, 2005).

1- Eng. Agrícola, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa S/N, C.P 07, Cruz das Almas, BA, CEP 44380-000. E-mail: eugenio@cnpmf.embrapa.br.

2- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Escola Agrotécnica Federal Antonio José Teixeira. E-mail: sergiodonato@eafajt.gov.br

3- Eng. Agrônomo, Doutorando, Universidade federal do Recôncavo da Bahia, E-mail: torquato@yahoo.com.br

As bananas do grupo Caturra (Nanicão, Nanica, Maçã) são pouco sensíveis ao etileno, necessitando altas doses para amadurecer. Por outro lado, a banana 'Prata' amadurece rapidamente, em aproximadamente três dias, sob temperatura ambiente de 20°C após a colheita.

### **Estratégias para atingir alto rendimento (com enfoque agrometeorológico)**

Os altos rendimentos na cultura da bananeira são obtidos sob condições de adequado desenvolvimento, isto é, mantendo o solo e a umidade numa faixa de 70 a 100% da água disponível, com temperatura ambiente entre 20 e 29° C, luminosidade elevada, umidade relativa do ar de, pelo menos, 60%, e solo adequadamente fertilizado.

### **Características particulares de interesse agrometeorológico, direto ou indireto**

A bananeira é uma planta tipicamente tropical, cujo bom desenvolvimento exige calor constante, elevada umidade e boa distribuição de chuvas. Estas condições são registradas na faixa compreendida entre os paralelos 30°, de latitude norte e sul, região em que as temperaturas situam-se entre os limites de 15°C e 35°C. Há, entretanto, possibilidades de cultivo em latitudes superiores a 30°, desde que a temperatura e o regime hídrico sejam adequados (Moreira, 1987). A despeito disso, existem cultivos fora das condições climáticas ótimas, como nos subtrópicos frios e nos trópicos semi-áridos, onde ocorrem baixas temperaturas ou estresse por calor, além de deficiência hídrica, fatores que limitam o potencial produtivo da banana.

Em síntese, a banana é cultivada em todas as regiões quentes do mundo, produzindo durante quase todo o ano e sendo consumida no mundo inteiro.

### **Ecofisiologia da cultura**

Extremos de temperaturas causam injúrias, por prejuízos nos processos celulares, incluindo alterações em propriedades de membrana, interações entre macromoléculas e reações enzimáticas, desnaturação de proteínas, mudança nos níveis dos hormônios, aumentos em açúcares insolúveis e produção de espécies de oxigênio reativo (Iba, 2002; Wang et al., 2003). De forma similar, a morte devido ao frio é consequência de lesões nas biomembranas e na interrupção do suprimento de energia celular (Larcher, 2000).

Na fotossíntese, estresse por temperaturas altas induz desintegração de grana, reduz transporte de elétrons, afeta a distribuição de energia, a organização estrutural das membranas dos tilacóides, a fluidez da membrana, o balanço iônico e diminui a atividade enzimática (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004; Santos et al., 2005), limitando, assim, o crescimento e a produtividade da planta.

As fases de desenvolvimento da bananeira variam em função das condições ambientais. De forma geral, a duração do ciclo da cultura depende da cultivar, podendo variar de 280 (cv. Prata Anã) a 600 dias (cv. Terra). A fase de crescimento de frutos pode variar de 90 a 220 dias, dependendo da cultivar, da temperatura e do suprimento de água. A cultura pode atingir alturas entre 2,0 e 9,0 m e produz folhas de um pseudocaulo, do qual emerge um ramo floral. Os frutos formam-se em pencas, nos cachos.

#### **1.1 Fenologia**

O desenvolvimento da bananeira pode ser dividido em três fases fenológicas: crescimento vegetativo, que o tempo decorrido do plantio ao aparecimento do ramo floral; floração, que compreende o tempo do aparecimento do ramo floral ao vingamento dos frutos; e crescimento dos frutos, até a colheita. No primeiro ciclo da cultura, estas fases são devidamente caracterizadas em toda a área. Entretanto, a partir do segundo ciclo, em virtude de antecipações e atrasos das plantas, ocorre não uniformidade das fases, dentro de uma mesma área.

**Tabela 1. Escala fenológica da cultura da bananeira.**

Fase	Descrição	Duração Média
Vegetativa	Crescimento vegetativo do pseudocaule, desde o plantio até o aparecimento do primeiro ramo floral.	De zero ao 7º/9º mês
Floração	Desenvolvimento da inflorescência, desde o aparecimento do ramo floral até o vingamento dos frutos.	1 mês
Crescimento dos frutos	Crescimento e desenvolvimento dos frutos, até o tamanho máximo dos mesmos.	Do 8º/10º ao 11º/13º mês

A partir do segundo ciclo, isto é, após o corte das plantas mães do primeiro ciclo, as três fases podem ocorrer de forma seqüenciada, como no primeiro ciclo, ou com sobreposição das fases, na mesma área. O período de floração ocorre em 20 dias, entre o sétimo e o nono mês, desde a emissão da inflorescência até o final da floração.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade hídrica

A água correspondente a 87,5% do peso total da planta. A deficiência de água pode afetar tanto a produtividade quanto a qualidade dos frutos. As fases de floração e crescimento de frutos são as de maior exigência hídrica. Porém, o suprimento adequado de água também é importante durante o início do desenvolvimento vegetativo, para garantir o crescimento e a frutificação (Doorembos & Kassam, 1984). A deficiência de água na fase inicial pode comprometer o desenvolvimento das folhas e, conseqüentemente, a floração, mais tarde. No período de floração, o déficit hídrico limitará o crescimento das folhas e o número de frutos. Na fase de crescimento dos frutos, o déficit hídrico afetará o tamanho e a qualidade dos frutos.

Os primeiros sinais visíveis do estresse de seca são as murchas prolongadas das folhas, seguidas de amarelecimento, necrose marginal e sintomas de queimadura das folhas. No longo prazo, a resposta a déficits de umidade levará à redução do tamanho e do número de folhas vivas por planta, ao aumento do amarelecimento das folhas, à redução no tamanho das plantas, ao decréscimo na emissão foliar, à diminuição no crescimento dos órgãos florais, dos cachos “engasgados”, isto é, obstruídos, dedos curtos e, no pior caso, cachos pequenos, com dedos secos e enegrecidos (Stover & Simmonds, 1987; Soto Ballester, 1992; Robinson, 1996).

A avaliação dos coeficientes de cultura da bananeira, nas condições subúmidas e semi-áridas do Brasil, tem sido feita por diferentes metodologias e, os resultados disponíveis, obtidos através do método inverso, valendo-se dos valores iniciais de  $K_c$ , recomendados por Doorembos & Kassam (1984), os quais são acrescidos ou reduzidos em função das produtividades obtidas com aplicação de diferentes lâminas de irrigação. Outra metodologia que tem sido usada, na determinação dos coeficientes de cultura, é a razão entre a evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) e a evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ). A determinação da  $E_{Tc}$ , para este fim, tem sido feita por métodos precisos, tais como o do balanço de água no solo, com uso de lisimetria, e pelo método da razão de Bowen.

No segundo ciclo da produção, os coeficientes de cultura poderão seguir a mesma seqüência do primeiro ciclo, isto é, após o corte da planta mãe, avalia-se a fase das plantas filhas e o coeficiente equivalente ao primeiro ciclo, dando seqüência, a partir deste ponto. Este artifício é válido caso haja uniformidade das plantas no segundo ciclo. A partir do terceiro ciclo, ou ocorrendo não uniformidade de fases na área, deve-se optar por variações mensais do  $K_c$ , a exemplo do recomendado para condições subtropicais (Doorembos & Kassam, 1984), regiões onde as temperaturas no inverno atingem níveis próximos ou inferiores a 14°C. No caso, sugerem-se os valores do  $K_c$  da Tabela 2.

**Tabela 2. Coeficientes de cultura da bananeira para condições tropicais, considerando o primeiro e os demais ciclos de cultivo.**

Ciclo 1												
Mês após o plantio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kc*	0,40	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,10	0,90	0,80
A partir do ciclo 3												
Mês do ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Kc	1,10	1,10	1,10	0,90	0,85	0,80	0,75	0,80	0,85	0,90	1,10	1,10

\*Os valores de Kc do ciclo 2 são os mesmos do ciclo 1, dependendo do estágio do pseudocaule na época do corte da planta mãe. O valor do Ky (fator de resposta ou grau de “susceptibilidade” à deficiência hídrica), para a bananeira, varia de 1,2 a 1,35, sem diferença relevante entre as fases fenológicas.

## 2.2 Temperatura

A grande maioria dos materiais genéticos de banana requer temperaturas em torno de 28°C para bom crescimento e desenvolvimento. Fora da faixa de 15 a 35°C, as temperaturas podem ser consideradas extremas.

Segundo Soto (1985), a temperatura do ar influencia diretamente o desenvolvimento das folhas da bananeira. Assim, temperaturas altas induzem o fechamento dos estômatos, reduzindo, conseqüentemente, a taxa fotossintética, levando a uma paralisação do crescimento. Quando as temperaturas acham-se entre 38 e 40°C, cessa o crescimento, levando a folha a apresentar o limbo estreito, curto e reduzido ao nível do pecíolo. Temperaturas entre 20 e 29°C condicionam as plantas a uma velocidade de crescimento máxima, sendo a temperatura de 27°C considerada a temperatura ótima, de forma geral. Nas fases de crescimento e iniciação floral, a temperatura ótima é de 22°C e, para taxa de emergência foliar, a mesma deve situar-se acima de 31°C (Turner & Lahav, 1983; Robinson, 1996). A temperatura de 14° C é considerada a temperatura basal inferior.

Para Champion (1968), citado por Volpe (1993), temperaturas abaixo de 16° C acarretam uma forte redução da atividade vegetativa. O intervalo entre a emissão de novas folhas é de uma semana, sob condições de 21°C e, de duas semanas, a 15°C.

Temperaturas menores que 12°C podem levar a injúrias dos tecidos, principalmente da casca dos frutos e, chegando aos 4°C, levam ao surgimento de manchas amarelas nos bordos das plantas, culminando com danos letais nesta área (Moreira, 1987). Já para temperaturas maiores do que 35°C, ocorre inibição no desenvolvimento da planta, com a desidratação dos tecidos, principalmente das folhas (BORGES, 2004).

Robinson (1996) mostrou que uma média de 1000 unidades térmicas, ou graus-dia acima de 14°C, é necessária para o desenvolvimento do cacho de banana cv. ‘Williams’, do florescimento à maturidade.

## 2.3 Radiação solar

A bananeira é uma planta C3, de dia longo e com altas taxas fotossintéticas. A luminosidade afeta diretamente o ciclo da bananeira, o tamanho dos cachos, a qualidade e a conservação do fruto. Considera-se como ideal uma insolação (número de horas de brilho solar) maior que 2.000 horas/ano tendo, como limite inferior, 1.000 horas/ano.

Soto Ballester (2000) apresenta dados de experimento conduzido por Campbel (1997), sobre a atividade fotossintética da bananeira ‘Grande Naine’, na zona Atlântica da Costa Rica. A curva de resposta à luz (Figura 1) foi determinada através da mensuração da fotossíntese líquida, num dia ensolarado, entre 09 e 12 horas, baseada no modelo proposto por Thornley & Johnson (1990). Na

curva, o autor calculou o ponto de compensação lumínica, que foi de 180  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , indicando ser esta é quantidade de radiação mínima necessária para uma taxa fotossintética líquida igual a zero. A máxima taxa fotossintética líquida foi obtida com uma radiação fotossinteticamente ativa de cerca de 1.500  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Radiação fotossinteticamente ativa, maior que este valor, não incrementa a taxa de fotossíntese líquida, corroborando os dados discutidos por Robinson (1996).

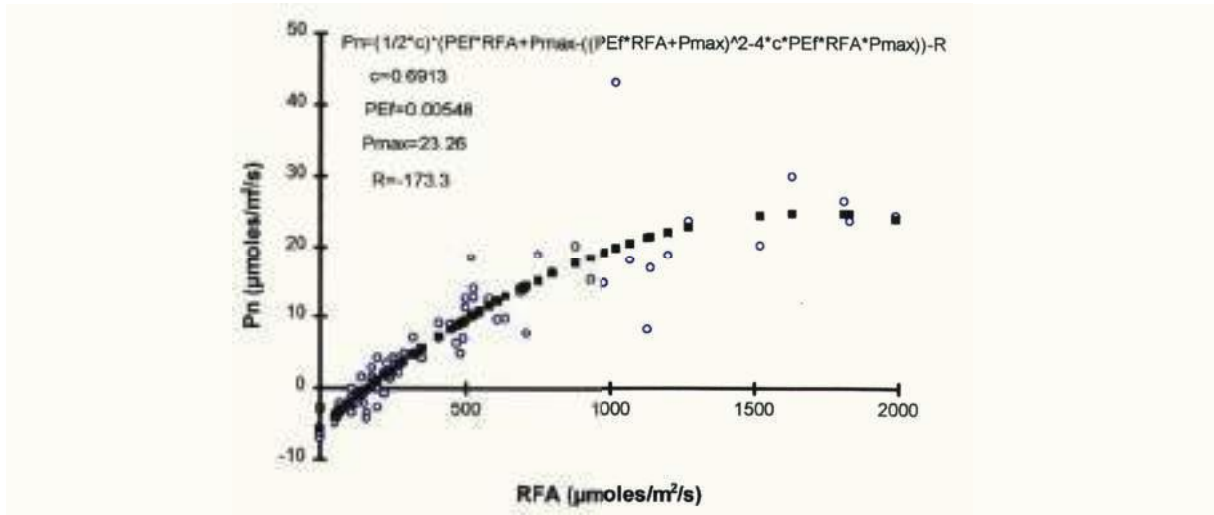


Figura 1. Curva de resposta à luz, baseada no modelo proposto por Thornley & Johnson (1990).

Fonte: Soto Ballestero (2000)

A área foliar, o ângulo e a forma da folha influenciam bastante no aproveitamento da luz, sendo que, a superposição das folhas prejudica a captação de luz pelas plantas, sobretudo quando a intensidade luminosa é baixa, seja por nebulosidade, seja pelo excesso de plantas por unidade de área (Alves et al., 1997).

Turner et al. (2007) comentam que, embora seja esperada maior evaporação de uma copa com elevado IAF, comparativamente a uma de menor IAF, isto necessariamente não ocorre, pelas seguintes razões: a) a quantidade de água evaporada, por uma folha do dossel, será proporcional à quantidade de radiação interceptada, pois a mudança do estado da água, de líquido para vapor, exige consumo de energia; b) cerca de 90% da energia radiante que chega é interceptada numa bananeira com IAF entre 4,5 e 5,0, podendo chegar a 94%, sob cultivo protegido. Assim, é pouco provável que um IAF acima de 5,0 contribua para o aumento da evaporação.

Após o aparecimento da Sigatoka Negra no Brasil, tem-se observado que os bananeais mais adensados (com menor luminosidade) apresentam menor grau de infecção da doença, pois a velocidade de reprodução do fungo causador da doença é reduzida na ausência de luz.

O efeito da luminosidade sobre o ciclo vegetativo da bananeira é bastante evidente. Em bananeiras do subgrupo Cavendish, o ciclo estende-se por 8,5 meses em cultivos bem expostos à luz e, por 14 meses, em cultivos sombreados. Este efeito também altera a duração do período de desenvolvimento do fruto. Em regiões de alta luminosidade, o período para que o cacho atinja o ponto de corte comercial é de 80 a 90 dias após sua emissão, ao passo que, em regiões com baixa luminosidade em algumas épocas do ano, o tal período varia de 85 a 112 dias e, sob luminosidade intermediária, a colheita se processa entre 90 e 100 dias (Soto Ballestero, 1992).

## 2.4 Fotoperíodo

A bananeira não responde ao fotoperíodo (Soto Ballestero, 2000). Embora seja, atualmente considerada, planta de dia neutro para indução floral, uma vez que não depende do fotoperíodo para floração, há evidências de que outro fator ambiental atrase o desenvolvimento floral, independentemente do efeito térmico (acúmulo de graus-dia). Se este fator for o fotoperíodo curto, então a bananeira pode ser classificada como planta de dia longo (Turner et al., 2007).

## 2.5 Vento

Segundo Moreira (1987), a ação danosa dos ventos gera perdas de 20 a 25% da produção, no Estado de São Paulo, com efeitos variados. Quando moderados ou fracos, podem causar prejuízos como o “chilling” (se forem frios), a desidratação da planta, devido à grande evaporação (quando quentes), o amarelecimento e a seca parcial das folhas, o fendilhamento entre as nervuras secundárias, a diminuição da área foliar pela dilaceração das folhas ou pela redução na taxa de crescimento, a exposição do fruto à radiação solar, o aumento do ataque de nematóides, a produção de cachos de menor tamanho e peso, e o aumento do ciclo da cultura. Quando mais fortes, podem provocar o rompimento de raízes, a quebra do pseudocaulo e o tombamento inteiro da touceira.

O estágio de desenvolvimento da planta é muito importante para determinar a intensidade dos prejuízos causados pelo vento. O efeito do vento é maior sobre o rendimento da planta quando esta se encontra com o cacho recém-formado, período em que não há mais emissão de folhas e raízes, especialmente se comparado ao estágio de desenvolvimento vegetativo, em que a planta ainda pode recuperar-se parcialmente (Moreira, 1999; Gálan Saúco, 2001).

Os dados de Taylor & Sexton (1972), citados por Cayón (2004), ilustram os efeitos do rasgamento foliar sobre a temperatura foliar e sobre a taxa fotossintética. Os efeitos benéficos do vento são mais evidentes em folhas expostas ao sol que em folhas sombreadas, uma vez que ajuda a evitar o aquecimento excessivo das folhas e alcançar a temperatura de dano termal, que é de 47,5 °C (Robinson, 1996). Na estação seca, em folhas expostas ao sol, a taxa fotossintética foi maior em folhas rasgadas que em folhas intactas. Adicionalmente, o rasgamento da folha pode diminuir em 50% a taxa de transpiração durante um período de estresse ambiental, porque a resistência estomática aumenta.

Apesar de o rasgamento foliar conferir alguns benefícios à planta, como descritos anteriormente (maior esfriamento da planta sob estresse térmico e maior taxa fotossintética), a extensão destes benefícios dependerá da intensidade do rasgamento. Robinson (1996) e Soto Ballester (2000), a partir dos dados experimentais de Eckstein (1994), demonstram que o rasgamento excessivo, ou a dilaceração do limbo, provocou redução na taxa fotossintética em bananeira cv. Dwarf Cavendish. Naquele estudo, a taxa fotossintética variou de 20,5  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , em folhas não rasgadas e rasgadas a cada 100 mm, para 13,7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em folhas rasgadas a cada 12 mm, o que representou um decréscimo de 33,2% na taxa fotossintética.

Para diminuir os danos causados pela ação de ventos constantes, algumas técnicas podem ser utilizadas, como:

- substituir os cultivares de porte alto por outros de porte baixo;
- realizar adequados controles de broca e nematóide;
- realizar uma adubação equilibrada;
- escorar os pés de banana, com bambus, varas, ou fazer amarrações dos pés, com fios plásticos;
- efetuar o plantio de quebra-ventos nas áreas periféricas do bananal;
- evitar o plantio em faces do terreno expostas aos ventos frios e, ou, constantes.

No caso de quebra-ventos, podem ser utilizadas, por exemplo, a acácia, a leucena, o bambu, além de outros. A orientação deve ser perpendicular ao vento predominante. A altura do quebra-vento deve ser de 2 a 3 vezes, no mínimo, a altura da bananeira, e a distância entre linhas, 20 vezes a altura da espécie escolhida. Segundo Moreira (1987), o bambu apresenta vantagens, como flexibilidade, e ainda fornece varas para o escoramento.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

O granizo é uma ameaça à agricultura. As plantas podem morrer em decorrência do choque térmico, ou sofrer avarias consideráveis. Dependendo do tamanho dos cristais de gelo e da velocidade da precipitação, podem, também, provocar o tombamento das plantas. Em algumas regiões do país, como no Rio Grande do Sul, lavouras inteiras podem ser destruídas. No caso da cultura da banana, de acordo com a intensidade

do fenômeno, o granizo pode acarretar a destruição completa do bananal. As fases mais sensíveis da planta são a floração e a colheita. Na floração, o granizo pode provocar a perda completa ou parcial da inflorescência, enquanto na colheita pode decretar danos aos frutos, perdendo, assim, o valor econômico.

Chuvvas muito intensas causam a baixa aeração do solo, com o apodrecimento das raízes. Neste aspecto, durante o ciclo fonológico, as fases de desenvolvimento vegetativo e de frutificação são as mais afetadas. O excesso de água acarreta sintomas semelhantes à escassez, afetando o desenvolvimento vegetativo e aumentando, assim, o ciclo da cultura. Em casos extremos, pode provocar a morte da planta.

### 3.2 Seca fora de época e Veranico

A deficiência hídrica reduz as atividades fisiológicas das plantas, podendo, em casos severos, paralisar completamente o crescimento. Durante um período de estresse hídrico e perda de turgescência, a consequência imediata é a redução da taxa fotossintética. À medida que esta condição perdura, as principais consequências são o amarelecimento das folhas, com posterior secamento, a redução da taxa de crescimento, o atraso no desenvolvimento fenológico, a redução do número e da variedade das flores, a formação de cachos menores e de frutos de qualidade inferior.

Em termos de produtividade do bananal, a deficiência hídrica é ainda mais prejudicial quando ocorre na época de formação da inflorescência ou no início da frutificação.

Segundo Brunini (1984), os cultivares apresentam diferenças quanto à tolerância à seca, podendo ser classificados como “pouco tolerantes”, como é o caso da banana ouro e, “medianamente tolerantes”, como a banana nanica.

Com base em valores de umidades médias correspondentes ao limite superior, inferior e à disponibilidade de água, para diferentes tipos de solos, a Tabela 3 indica diferentes níveis de estresse hídrico da bananeira. Para os resultados exibidos na tabela, foi considerada uma demanda evapotranspirativa média de 3 mm/dia, no inverno e, de 5 mm/dia, em condições de verão. Considerou-se ainda, uma profundidade efetiva média de 0,40 m. Os níveis de estresse leve, moderado e forte, correspondem, respectivamente, a reduções relativas de 0,30, 0,45 e 0,60 da capacidade de campo, CAD.

**Tabela 3. Umidades do solo equivalentes a estresses hídricos, para diferentes tipos de solo e períodos sem irrigações, correspondentes aos estresses.**

Classe textural	CAD	Ponto de Murcha	Umidade do solo (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ) que resulta em estresse			Tempo (dias) com ETC = 3 mm/dia para provocar estresse			Tempo (dias) com ETC = 5 mm/dia para provocar estresse		
			1*	2*	3*	1*	2*	3*	1*	2*	3*
Areia	0,12	0,04	0,096	0,084	0,072	3	5	6	2	3	4
A. franca	0,14	0,06	0,116	0,104	0,092	3	5	6	2	3	4
Franco arenoso	0,23	0,1	0,191	0,1715	0,152	5	8	10	3	5	6
Franco	0,26	0,12	0,215	0,1925	0,17	6	9	12	4	5	7
Franco siltoso	0,3	0,15	0,255	0,2325	0,21	6	9	12	4	5	7
Siltoso	0,32	0,15	0,269	0,2435	0,218	7	10	14	4	6	8
Franco argilo siltoso	0,34	0,19	0,295	0,2725	0,25	6	9	12	4	5	7
Argilo siltoso	0,36	0,21	0,315	0,2925	0,27	6	9	12	4	5	7
Argiloso	0,36	0,21	0,315	0,2925	0,27	6	9	12	4	5	7

1 = Leve, 2 = Moderado e 3 = Forte



### 3.3 Vento intenso (Ventanias e Vendavais)

Ventos fortes são capazes de provocar danos suficientes para arrasar, em poucos minutos, uma plantação.

A maioria dos clones cultivados suporta ventos de até 40 km por hora. Acima de 40 e, até 55 km/h, produzem danos moderados, como desprendimento parcial da planta, quebra do pseudocaule e outros, dependendo da idade da planta, da variedade e do estágio de desenvolvimento. Esta faixa de velocidade do vento é a que causa maiores perdas na produção de cultivares de porte alto (Alves et al., 1997a).

Quando os ventos atingem velocidades superiores a 55 km por hora, a destruição pode ser total (Soto Ballester, 1992; Cayón, 2004). Ventos acima de 70 km por hora provocam grandes perdas, mesmo nas cultivares de porte baixo (Alves et al., 1997a).

A importância dos danos causados pela ação dos ventos é proporcional ao porte, à idade da planta, à profundidade do rizoma e enraizamento, ao tipo do solo, à umidade do solo e ao espaçamento adotado.

Segundo Soto (1985), os limites de velocidade podem ser enquadrados como segue abaixo, relacionando os danos causados com as faixas de velocidade do vento:

- 30 - 40km/h = fendilhamento de folhas;
- 40 - 50km/h = rompimento do sistema radicular e quebra do pseudocaule;
- > 55Km/h = destruição total.

Para diminuir os danos causados pela ação de ventos constantes, algumas técnicas podem ser utilizadas, tais como, substituir os cultivares de porte alto por aqueles de porte baixo, realizar adequado controle de broca e nematóide, realizar uma adubação equilibrada, escorar os pés de banana, com bambus, varas, ou amarrações dos pés, com fios plásticos, efetuar o plantio de quebra-ventos nas áreas periféricas do bananal, e evitar o plantio em faces do terreno expostas a ventos frios e, ou, constantes.

#### Geada

Regiões de maior altitude, principalmente fora da faixa intertropical, como o Vale do Ribeira e o sul do Planalto Paulista, estão sujeitas, durante o inverno, a freqüentes massas de ar frio de origem polar, que provocam forte abaixamento das temperaturas locais. Estas ondas frias, mesmo que não tragam danos de geada na folhagem, afetam os frutos em crescimento, provocando o “chilling” ou “friagem”, que torna o produto impróprio para o comércio, especialmente para o mercado externo.

O “chilling” ou “friagem” é o resultado de danos fisiológicos, na planta e nos frutos, causados pelas baixas temperaturas. Nas folhas, ocorre o fechamento total dos estômatos, com conseqüente paralisação parcial ou total da respiração, além de coagulação dos cloroplastos das células. No fruto, há a coagulação da seiva na casca, com um escurecimento abaixo da casca verde dos frutos (TONET, 1995).

Quatro graus crescentes de prejuízos, causados por geadas, podem ser estabelecidos:

- O frio, ou mata os órgãos vegetativos, tais como as folhas, ou perturba as funções dos órgãos restantes.
- A geada destrói um grande número de flores, impedindo, assim, que muitas delas se transformem em frutos.
- A baixa temperatura destrói os frutos em formação e, os que sobrevivem, resultam mal formados.
- O frio intenso e prolongado é suficiente para provocar a morte da planta.

Geadas podem causar problemas de queima das plantas e podem prejudicar os frutos em formação. A bananeira é bastante sensível a baixas temperaturas. Temperaturas inferiores a 4°C já são suficientes para provocar a necrose em tecidos mais vulneráveis como bordo das folhas. Por isso, a ocorrência de geadas leva a parte aérea da planta à morte, com prejuízos significativos no desenvolvimento da cultura. Normalmente, as plantas não morrem, visto que o rizoma, abaixo do nível do solo, dificilmente é afetado.

### 3.5 Chuva excessiva ou excesso hídrico prolongado

A bananeira é uma planta sensível ao encharcamento do solo. Em condições de encharcamento potencial, o excesso de água deve ser drenado em, no máximo, duas horas, e o lençol freático deve atingir um metro de profundidade, em 24 horas (LIMA et al, 2003).

Quando o encharcamento do solo ocorre em bananais, os principais sintomas observados são o amarelecimento das folhas, o diâmetro dos pseudocaulis mais finos e a redução de produtividade.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1999. 585 p.
- ALVES, E. J. et al. Exigências climáticas. In: ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana, aspectos técnicos socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CNPMPF, 1997a. p. 35-46.
- ALVES, E. J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília, DF: EMBRAPA, 1999. 585 p.
- BANANUKA, J. A.; RUBIHAYO, P. R.; TENYWA, M. M. Reactions of *Musa* genotypes to drought stress. **African Crop Science Journal**, Kampala, v. 7, n. 4, p. 333-339, 1999.
- BORGES, A. L. et al. Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 314-318, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Produção e Comercialização. Departamento de Comercialização. **Balança comercial do agronegócio [2006?]**. Brasília, DF, [2006?].
- BRUNINI, O. Exigências climáticas e aptidão agroclimática da bananicultura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1984, Jaboticabal, SP. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/JUNESP, 1984. p. 99-117.
- CAYÓN, D. G. S. Ecofisiología y productividad del plátano (*Musa AAB Simmonds*). In: REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN PARA LA COOPERACIÓN EN INVESTIGACIÓN DE BANANO EN EL CARIBE Y EN AMÉRICA TROPICAL, 16., 2004, Oaxaca, México. **Anais...** [S.l.]: ACORBAT, [2004?]. p. 172-183.
- CAYON, G.; MORALES, H.; CELIS, L. D. Respuestas del plátano Dominicano-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) a la defoliación selectiva en la zona cafetera central. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 50, n. 1/2, p. 20-25, 2000.
- CHEESMAN, E. E. Classification of the bananas. II. The genus *Musa* L. **Kew Bulletin**, London, n. 2, p. 106-117, 1948.
- DONATO, S. L. R. **Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa* spp.), em primeiro ciclo de produção no sudoeste da Bahia, região de Guanambi, 2003**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes)-Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, 2003.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENARGEN. Disponível em: <www.cenargen.embrapa.br/cenargen/pdf/genobanana.pdf>. Acesso em: 19 out. 2006.
- ECKSTEIN, K.; ROBSON, J. C. Physiological responses of banana (*Musa* AAA; Cavendish subgroup) in the subtropics. (II) Influence of climatic conditions on seasonal and diurnal variations in gas exchange of banana leaves. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 70, p. 157-167, 1995.
- EKANAYAKE, J.; ORTIZ, R.; VUYLSTEKE. Influence of leaf age, soil moisture, VPD and time of day on leaf conductance of various *Musa* genotypes in a humid forest-moist savana transition site. **Annals of Botany**, London, v. 74, n. 2, p. 173-178, Aug. 1994.
- FAO. FAOSTAT: FAO statistical databases. 2006. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acesso em: 28 abr. 2006.
- GALAN SAUCO, V.; CABRERA, J.; HERNANDEZ DELGADO, P. M. Phenological and production differences between greenhouse and open-air bananas (*Musa acuminata* Colla AAA cv, Dwarf Cavendish) in Canary Islands. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 296, p. 97-111, 1992.
- HOFFMANN, H. P.; TURNER, D. W. Soil water deficits reduce the elongation rate of emerging banana leaves but the night/day elongation ratio remains unchanged. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 1-12, Apr. 1993.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 12 agosto. 2008.
- ISMAIL, M. R.; YUSOFF, M. K.; MAHMOOD, M. Growth, water relations, stomatal conductance and proline concentration in water stressed banana (*Musa* sp.) Plants. **Asian Journal of Plant Sciences**, Faisalabad, v. 3, n. 6, p. 709-713, 2004.
- KALLARACKAL, J.; MILBURN, J.A.; BAKER, D.A. Water relations of the banana. III. Effects of controlled water potential, transpiration, photosynthesis and leaf growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 17, n. 1, p. 79-90, 1990.
- KUMAR N. V. et al. A new factor for estimating total leaf area in banana. **Infomusa**, Montpellier, v. 11, n. 2, p. 42-43, 2003.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, RIMA Artes e textos, 2000. 531 p.
- MARTIN-PREVEL, P. Exigências nutricionais da bananeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1., 1984, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/JUNESP, 1984. p.118-134.
- MILBURN, J. A.; KALLARACKAL, J.; BAKER, DA. Water relations of the banana. I. Predicting the water relations of the field-grown banana the using the exuding latex. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 17, n. 1, p. 57-68, 1990.
- MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 335 p.
- ROBINSON, J. C. **Bananas and plattains**. Oxon: CAB International, 1996. 238 p.
- ROBINSON, J. C.; ALBERTS, A. J. Seasonal variations in the crop water-use coefficient of banana (cultivar 'Williams') in the subtropics. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 40, n. 3, p. 1-12, Oct. 1989.
- ROBINSON, J. C.; ANDERSON, T.; ECKSTEIN, K. The influence of functional leaf removal at flower emergence on components of yield and photosynthetic compensation in banana. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 67, p. 403-410, 1992.
- ROBINSON, J. C.; BOWER, J. P. Transpiration characteristics of banana leaves (cultivar 'Williams') in response to progressive depletion of available soil moisture. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 30, n. 4, p. 289-300, Nov. 1987.

ROBINSON, J. C.; BOWER, J. P. Transpiration from banana leaves in the subtropics in response to diurnal and seasonal factors and high evaporative demand. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 37, n. 1-2, p. 1129-1143, Nov. 1988.

ROBINSON, J. C.; HUMAN, N. B. Forecasting of banana harvest ('Williams') in the subtropics using seasonal variations in bunch develop rate and bunch mass. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 34, n. 3-4, p. 249-263, 1988.

ROSA, G. R. et al. **Anuário brasileiro de fruticultura**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2006. 136 p.

SANTOS, C. M. R. et al. Analysis of expressed sequence tags from *Musa acuminata* ssp. *burmannicoides*, var. *Calcutta 4* (AA) leaves submitted to temperature stresses. **Theoretical and Applied Genetics TAG**, Berlin, v. 110, n. 8, p. 1517-1522, May 2005

SCHÖFFL, F.; PRÄNDL, R.; REINDL, A. Update on signal transduction. regulation of the heat-shock response. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 117, p. 1135-1141, 1998.

SHEPHERD, K. Banana: taxonomia e morfologia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, 1., 1984, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1984. p. 50-74.

SILVA, E. A.; BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. de S. Avaliação de cultivares de bananeira (*Musa* sp) na região de Selvíria-MS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 101-103, 2006.

SIMMONDS, N. W. **Los platanos**. Barcelona: Blume, 1973. 539 p.

SOTO BALLESTERO, M. **Bananos: cultivo e comercialización**. 2. ed. San José, Costa Rica: Litografía e Imprensa LIL, 1992. 674 p.

STOVER, R.H.; SIMMONDS, N.W. **Bananas**. 3. ed. London: Longman, 1987. 468 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEIXEIRA, A. H. de C. et al. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 45-50, 2002.

TONET, R. M. Aspectos climatológicos na cultura da banana. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM BANANICULTURA, Avaré, 1995. **[Notas... ]** [S.l.: s.n.], 1995.

TURNER, D. W. An integral method for estimating total leaf area in bananas. **Infomusa**, Montpellier, v. 12, n. 2, p. 15-17, Dec. 2003.

TURNER, D. W. The response of the plant to the environment. In: GOWEN, S. (Ed.). **Bananas and plantains**. 1. ed. London: Chapman & Hall, 1995. Cap. 8, p. 206-229.

TURNER, D. W.; FORTESCUE, J. A.; THOMAS, D. S. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 463-484, 2007.

TURNER, D. W.; LAHAV, E. The growth of banana plants in relation to temperature. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 10, n. 1, p. 43-53, 1983.

TURNER, D. W.; LAHAV, E. Temperature influences nutrient absorption and uptake rates of bananas grown in controlled environments. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 311-322, 1985.

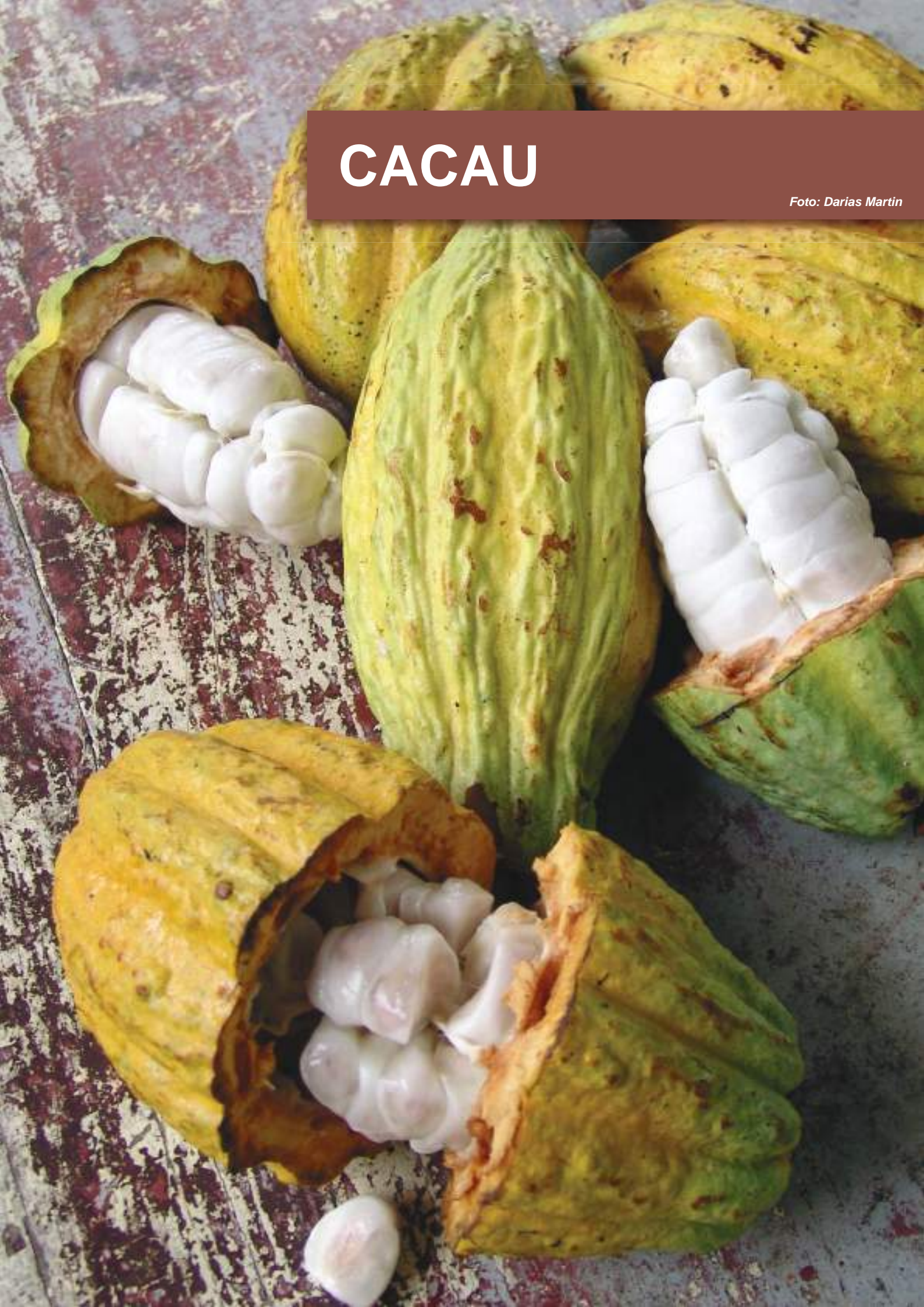
TURNER, D. W.; LAHAV, E. Temperature influences the distribution of some nutrients in young banana plants independently of its effect on dry matter. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 28, n. 1/2, p. 47-58, 1986.

TURNER, D. W.; LAHAV, E. The growth of banana plants in relation to temperature. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 10, n. 1, p. 43-53, 1983.

TURNER, D. W.; THOMAS, D. S. Measurements of plant and soil water status and their association with leaf gas exchange in banana (*Musa* sp.): a laticiferous plant. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 77, n. 3/4, p. 177-193, Oct. 1998.

# CACAU

Foto: Darias Martin





## 1. INTRODUÇÃO

### Origem, dispersão e classificação botânica

O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) é uma fruteira de grande importância sócio-econômica e ambiental, uma vez que, além da produção de amêndoas para a fabricação do chocolate e derivados, ajuda a proteger as áreas remanescentes da Mata Atlântica, especialmente nos Estados da Bahia e do Espírito Santo. Esta espécie é nativa das florestas tropicais úmidas do continente americano.

A origem e a dispersão do cacauieiro estão modeladas em três hipóteses, tratadas com propriedade no capítulo "Origem e dispersão de *Theobroma cacao* L.: um novo cenário" (Dias, 2001). Após revisão e análise detalhada das três hipóteses, este autor concluiu que o centro de origem mais provável compreende a região das bacias do alto Amazonas e do alto Orenoco, portanto, bem mais amplo que aquele originalmente aventado. Posteriormente, a espécie foi dispersa pelo homem rumo ao norte das Américas do Sul e Central, tendo sido domesticada na península do Iucatã, por povos Maias e seus antecessores (Dias, 2001). Do Brasil, o cacauieiro foi levado para a África, continente que, atualmente, responde por cerca de 70% da produção mundial de cacau.

O cacauieiro é classificado como planta  $C_3$ , quanto ao mecanismo de fixação de  $CO_2$ . Trata-se de uma planta perene, de sistema reprodutivo misto, com predomínio de alogamia e autogamia, dependendo da população. O *Theobroma* pertence, atualmente, à família Malvaceae, (Alverson et al., 1999; APG II, 2003). O gênero possui 22 espécies, distribuídas em 6 seções. As espécies de ocorrência brasileira (*T. grandiflorum*, *T. obovatum*, *T. subincanum*, *T. speciosum*, *T. sylvestre*, *T. microcarpum*, *T. bicolor*, *T. cacao*, *T. glaucum* e *T. canumanense*) restringem-se à Amazônia (Cuatrecasas, 1964). São reconhecidas apenas duas subespécies de *Theobroma cacao* L., a saber, a *T. cacao* subesp. *Caçã*, englobando as populações de cacauieiros conhecidos pelo nome de Criollos e, a *T. cacao* subesp. *sphaerocarpum*, compreendendo as populações de cacauieiros conhecidos como Forasteros Amazonicos.

### Morfologia do cacauieiro

A planta é de porte arbóreo, de um só tronco ereto, ou com alguns troncos inclinados, nascidos de uma só base, típica de clima tropical e nativa da região de floresta úmida das Américas. Em condição silvestre, é encontrada no estrato baixo ou intermediário da floresta, podendo atingir, em média, 20 metros de altura. Apresenta flores no caule e nos ramos mais velhos. O florescimento ocorre várias vezes ao ano, de tal forma que é possível encontrar, em uma mesma planta, flores e frutos em diferentes estádios de desenvolvimento. Na seqüência, descreve-se o cacauieiro e suas principais características.

### Raiz

O cacauieiro reproduzido por semente, ou por enxertia, possui dois tipos de raízes, sendo uma central, chamada pivotante, conhecida vulgarmente como espigão ou pião, que, encontrando solos de boa profundidade e aeração, cresce, atingindo até dois metros de profundidade, separada do tronco por um colo bem definido. As outras são as raízes secundárias, em grande número e bastante superficiais,

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Est. Experimental "Filogônio Peixoto" / CEPLAC, R. Augusto Pestana, 1122, C.P. 102, CEP 29900-180, Linhares, ES. E-mail: carlosspaggiari@bol.com.br;

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, CEPLAC. E-mail: magaguilar@uol.com.br;

3- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Universidade Federal de Viçosa. E-mail: lasdias@ufv.br

com cerca de 80% localizadas nos primeiros vinte a trinta centímetros de profundidade do solo. Estas raízes são responsáveis pela absorção de água e nutrientes pela planta, enquanto a pivotante tem, como principal função, a fixação do cacauero, embora, em períodos de estiagem prolongada, possa garantir a sobrevivência da planta pela absorção de água das camadas mais profundas do solo. Uma das características da raiz pivotante é a paralisação do próprio crescimento ao encontrar alguma barreira física, ou química, bem como lençol freático superficial, não se regenerando em caso de injúria.

Quando a planta é reproduzida de forma assexuada, ou seja, pelo enraizamento de estacas (clonagem por estaquia), a raiz pivotante deixa de existir, formando-se raízes adventícias, sendo que algumas delas, normalmente três ou quatro, apresentam maior calibre e são chamadas de axiais, com a função de fixação da planta. Estas raízes dificilmente ultrapassam 60 cm de profundidade. As outras raízes adventícias mais finas, ou secundárias, são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes. Esta peculiaridade de as mudas clonais não possuírem raiz pivotante torna este tipo de planta mais suscetível ao tombamento, quando indevidamente manejadas.

### Caule



Figura 1. Ramos plagiotrópicos ou coroa do cacauero (A, B) e caules (ramos ortotrópicos) de cacaueros, em diferentes idades (C, D). Fotos: Carlos Alberto Spaggiari Souza.

O caule é ereto, de casca lisa e verde durante os dois primeiros anos, passando para cinza escuro e de superfície irregular na planta adulta (Figura 1). Com relação ao sentido de crescimento, o cacaueteiro apresenta dois tipos de ramos, um de crescimento vertical, denominado ortotrópico, que se caracteriza por apresentar folhas longamente pecioladas e índice filotáxico 3/8, ou seja, as folhas crescem em todos os lados do caule, em espiral. Este crescimento vertical atinge altura variável entre 1,0 e 1,5 metro, em torno de um ano, dependendo muito das condições ecológicas do cultivo. Nesta fase, interrompe-se o crescimento apical, surgindo de 3 a 5 gemas laterais. De cada gema se desenvolve um ramo lateral de crescimento oblíquo, denominado plagiotrópico, formando um ângulo de 30 a 45°, em relação à superfície do solo. Estes ramos laterais formam a coroa, palma, forquilha ou jorquete e, posteriormente, deles surgem outros, para formar a copa do cacaueteiro.

O cacaueteiro mal manejado, principalmente no que diz respeito a podas, apresenta, abaixo da primeira forquilha, o surgimento de uma nova haste ortotrópica, com as mesmas características da haste inicial que, por sua vez, irá formar novas forquilhas. Este processo se repete por três a quatro vezes, numa mesma planta que não recebeu trato cultural. Normalmente, nas áreas abandonadas, o cacaueteiro apresenta-se com copas sobrepostas, na forma de “andares”.

Em áreas sujeitas a alagamentos, como nas várzeas de rios, é comum encontrar cacaueteiros com várias hastes, no formato de touceira. Almeida (2001) registrou cacaueteiros silvestres de Rondônia, com até trinta e cinco hastes. Pode-se pensar que houve uma ramificação da planta, o que não é verdade, já que o cacaueteiro é unicaule e não perfilha. Normalmente, o cacaueteiro velho tomba e, de seu tronco principal, surgem várias brotações ortotrópicas, formando novas copas, dando conformação de touceira.

O cacaueteiro, quando é reproduzido por semente, pode apresentar altura variando de 5 a 15 metros, havendo registros de, até, 50 a 75 metros, nas florestas de Belize (Mooleedhar et al., 1995). A planta de cacaueteiro pode ser propagada, também, por via assexuada, sendo a enxertia, por garfagem, e o enraizamento de estacas, as formas mais usuais. Como clone, o cacaueteiro exibe um porte bem menor. Normalmente, as plantas clonais atingem, em média, altura máxima de 4 metros.

## Folhas

As folhas do cacaueteiro são pecioladas, apresentando dois intumescimentos no pecíolo, sendo um na inserção com o caule e, outro, com o limbo foliar, ambos chamados pulvínulos. Convém ressaltar que as folhas novas são tenras, possuindo coloração que varia do vermelho ao branco, dependendo da quantidade de antocianina, substância que tem, como principal função, a proteção das folhas contra a ação direta dos raios solares.

As folhas adultas apresentam coloração verde, sendo glabras ou sem pelos, de bordos lisos, acuminadas e penínervas. A maioria das folhas novas apresenta coloração vermelha. As folhas novas, que apresentam coloração branca, estão restritas às plantas das variedades “Catongo”, “Almeida” e “Mocorongo”. Tais variedades são mutantes albinos daquelas de folhagem vermelha.

Trabalhos conduzidos por Müller & Biehl (1994) demonstraram que a duração de uma folha de cacau, não submetida a estresse, é de, aproximadamente, 450 dias e, as que se desenvolveram sob alta luminosidade, apresentam vida útil de 250 dias. Por esta razão, o cacaueteiro apresenta, no mínimo, dois picos de lançamento de folhas novas, visando substituir as que caem.

O tamanho da folha de cacau varia de acordo com a quantidade de luz, sendo maior quando a planta é cultivada sob sombra densa. O tamanho compensa, em parte, a menor taxa de fotossíntese sob sombra. Cacaueteiros adultos produzem um auto-sombreamento que modifica muito a relação da planta com a luz. Considera-se que, para cada fruto produzido em condições normais, haja necessidade de 10 a 12 folhas desenvolvidas e funcionais, para atender à demanda de fotoassimilados (Pastorelly et al., 2006). Se há uma produção de frutos maior do que a planta pode suportar, ocorrerá o peco fisiológico ou secamento do frutos, mecanismo adotado pela planta para regular a produção suportável de frutos (Pastorelly et al., 2006).



## Flores

O cacauero é uma espécie dotada de flores hermafroditas. É uma planta tipicamente cauliflora, uma vez que as flores são formadas no tronco ou em ramos lenhosos, em minúsculas inflorescências denominadas almofadas florais, de onde se desenvolvem e se formam os frutos.

Devido à morfologia da flor do cacauero e a disposição dos gametas masculinos e femininos, a polinização da flor é classificada como entomófila, ou seja, realizada por insetos conhecidos como micromoscas, geralmente do gênero *Forcipomya*. Estas micromoscas vivem no ambiente natural das plantações de cacau, em plantas epífitas como gravatás, bromélias, árvores de sombra, pseudocaulas de bananeira em decomposição, em casqueiros de cacau e em frutas maduras que caem ao chão. Sua maior ocorrência se dá nos períodos chuvosos, quando há maior emissão de flores nos cacaueros. Recomenda-se, neste período de maior ocorrência de flores, não aplicar inseticidas, evitando assim, prejudicar a atividade polinizadora destes insetos.

Se coincidirem chuvas torrenciais com o período de floração, há comprometimento da fertilização da flor, pois o pólen encontra dificuldade na dispersão (formação de grumos), além de prejudicar a atividade do polinizador natural. A maior atividade deste inseto polinizador se dá nas primeiras horas da manhã, entre 05 e 07 horas, quando a flor do cacauero está altamente receptiva à fecundação. Por outro lado, a deficiência hídrica no solo aumenta o índice de abortamento das flores, por problemas na nutrição da planta.

Um cacauero adulto pode produzir até 50 mil flores por ano, das quais, menos de 5% são polinizadas, e, somente 0,5 a 2% resultam na produção de frutos. A flor não polinizada, nas primeiras 8 a 10 horas após a abertura, cai em 24 a 48 horas (Alvim, 1984). Em cacaueros intercompatíveis, o número de flores produzidas é bem maior que em cacaueros autocompatíveis.

## Frutos

É no fruto que o cacauero apresenta o maior polimorfismo. O valor dessa grande variação do fruto é discutível pela taxonomia, mas é muito importante na caracterização de variedades e tipos cultivados. O fruto do cacauero é indeiscente, do tipo bacóide drupissarcídeo (Figueiredo, 1986), pentalocular (cinco lóculos), com grande variação no tamanho, forma, coloração, rugosidade, profundidade do sulco longitudinal na superfície da casca, espessura da casca e serosidade. Estas variações são mais intensas quando se comparam frutos pertencentes aos grupos Criollos e Forasteros Amazonicos. O tamanho do fruto pode variar de 10 a 32 cm de comprimento, com forma variável, de arredondada a alongada, com diferenças significativas no comprimento e peso, que varia de 100 a 2.000 gramas. A cor do fruto vai do verde ao vermelho, quando jovem (imatur) e, do amarelo ao alaranjado, quando maduro.

A cor das sementes varia, do branco ao roxo intenso, passando por gradientes de coloração, de acordo com a intensidade de antocianina. O peso da semente pode variar de 0,5 a 5,0 gramas, quando secas (Bartley, 2005; Monteiro e Ahnert, 2007).

## Seca prematura dos frutos

Os frutos do cacauero, com até três meses de idade, podem murchar e secar. A este fenômeno, dá-se o nome de “peco fisiológico”, derivado do inglês “cherelle wilt”. Os frutos que apresentam este fenômeno tornam-se amarelos, murchar, ficam negros e secam. Posteriormente, mumificam-se e são infestados por fungos (Figura 2). Vários são os fatores que causam esse fenômeno, como extremos de temperatura, luminosidade, estresse hídrico, deficiência nutricional e doenças, ou um complexo destes. Os frutos com mais de três meses são menos propensos ao peco. Na maioria das outras plantas de interesse comercial, os frutos após senescência, caem ao solo. No cacauero, isto não acontece, causando a impressão de que a produção está sendo seriamente afetada.

Embora ainda não haja um consenso sobre as verdadeiras causas do peco fisiológico, sabe-se que o mesmo é controlado por um mecanismo interno da planta. As duas hipóteses mais aceitas, para explicar

a ocorrência do peco são: i) competição interna, por fotoassimilados, entre a emissão de folhas novas e frutos novos. Tal hipótese é respaldada no fato que, quando a planta está com frutos novos (chamados regionalmente de bilros) e há emissão de folhas novas, grande parte dos frutos novos seca; ii) competição interna entre frutos de idades diferentes, na mesma planta. Esta hipótese é justificável por serem, os frutos grandes, drenos maiores que os frutos novos. Não se pode desconsiderar, também, a capacidade fotossintética da planta, para abastecer os frutos jovens de fotoassimilados (Müller & Valle, 2007).



Figura 2. Frutos de cacau que sofreram peco fisiológico. Fotos: Carlos Alberto Spaggiari Souza.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

As grandes regiões produtoras de cacau, no mundo, concentram-se entre 15 e 20° de latitudes norte e sul, embora existam plantios fora dessas faixas. Porém, são tais faixas que reúnem as melhores condições de clima para o pleno desenvolvimento e produção do cacau. No Brasil, o cacau só não é cultivado na Região Sul. Embora os maiores plantios se concentrem na Bahia, Pará, Rondônia, Espírito Santo, Amazonas e Mato Grosso, existem plantios em menor escala em quase todas as unidades da federação. Dentre todos os Estados, a Bahia continua sendo o maior produtor brasileiro, com 69% da produção, ou, 158 mil toneladas de amêndoas secas, em 2007, em que pese os danos extremos que a enfermidade vassoura-de-bruxa provocou na cacauicultura baiana (AGRIANUAL 2008).

Os principais parâmetros agrometeorológicos que afetam o crescimento do cacau são disponibilidade hídrica (precipitação pluviométrica), temperatura, radiação solar (luminosidade), fotoperíodo, ventos, umidade relativa do ar e altitude. Contudo, segundo Almeida e Valle (2007), os principais elementos determinantes da produção de amêndoas secas podem ser agrupados em três conjuntos, ou seja: i) interceptação de luz, fotossíntese e capacidade de distribuição de fotoassimilados; ii) manutenção da respiração; iii) morfologia do fruto, fermentação da semente, e outros eventos que podem ser modificados por fatores abióticos.

### 2.1 Disponibilidade hídrica

O cacau, por ser uma planta típica de clima tropical, é extremamente exigente em água, sendo muito sensível à falta de umidade no solo. A precipitação pluviométrica demandada pela planta é de, aproximadamente, 1.200 mm anuais, com distribuição mensal em torno de 100 mm. Caso não se disponha de tais condições, faz-se necessária a irrigação complementar, como ocorre do Município de Linhares, ES, onde se observa precipitação menor no inverno. Fica evidente que não se deve olhar somente a quantidade de chuva da região, mas também a distribuição. A técnica da irrigação em cacau, onde a precipitação é insuficiente ou irregular durante o ano, torna-se uma prática obrigatória para se obter altas produtividades, regularmente.

Há que se ter muita atenção às áreas irrigadas, pois o mau manejo da irrigação e o uso incorreto de fertilizantes, através da técnica da fertirrigação, podem também salinizar o solo, tornando-o impróprio para o cultivo do cacau. Um dos grandes problemas da agricultura irrigada, em cultivos tropicais, quando não há um adequado manejo da irrigação, é a salinização da área, cuja correção é muito difícil e onerosa. No entanto, o efeito da salinidade, no crescimento e desenvolvimento das plantas de cacau, exige mais estudos, visando fornecer maiores informações sobre os danos que este fenômeno pode ocasionar às plantas.

A quantidade e a distribuição da colheita de cacau são reguladas, mais pela chuva que por qualquer outro fator agrometeorológico. Contudo, outros fatores, como a temperatura, a radiação solar e a altitude influenciam os padrões característicos da curva de produção de cacau, para uma determinada região. As plantas cultivadas em solos de menor poder tampão e menor teor de matéria orgânica são as mais afetadas pela deficiência hídrica, em anos mais secos. Em locais com estação seca bem definida, as correlações entre a produção e o regime de chuvas, alguns meses antes da colheita, mostram-se positivas e moderadas. Por outro lado, em localidades onde o regime de chuvas é bem distribuído durante o ano, como ocorre na no sul da Bahia - região tradicional de cacau - nos meses onde a temperatura média mensal é inferior a 23 °C, tem sido verificado que a produção e a distribuição da colheita se correlacionam negativamente com as temperaturas observadas, seis a sete meses antes da colheita.

O reduzido número de pesquisas, sobre a influência da umidade do solo na produção de lavouras cacaueiras, talvez seja devido ao fato de o cacau ser cultivado, principalmente, em regiões que, caracteristicamente, apresentam precipitação total anual superior às perdas de água por evapotranspiração. Porém, onde tal precipitação for inferior a 1.200 mm, o cacau somente desenvolverá, com sucesso, com irrigação complementar. Esta situação ocorre no norte da Venezuela, onde a precipitação é de 700 a 800 mm por ano (Alvim, 1977) e, no norte do Espírito Santo, cuja precipitação concentra-se em poucos meses, embora totalizando 1.200 mm por ano (Augusto, 1997).

Na Figura 3, observa-se paralelismo entre a curva de precipitação pluviométrica e a curva da produção de cacau, em Linhares – ES, durante 18 anos. Observa-se ainda que, nos anos de maior concentração de chuvas, ocorre, também, maior produção. É por tal razão que a produção de cacau, no Estado do Espírito Santo, é muito variável, fluuando entre 5 mil e 14 mil t por ano. Esta grande variação ocorre em função das oscilações climáticas, que são muito acentuadas na região, sendo a má distribuição de chuvas a principal delas. Tais considerações levam à conclusão que, para manter a regularidade na produção de cacau, na referida região, a prática da irrigação é indispensável.

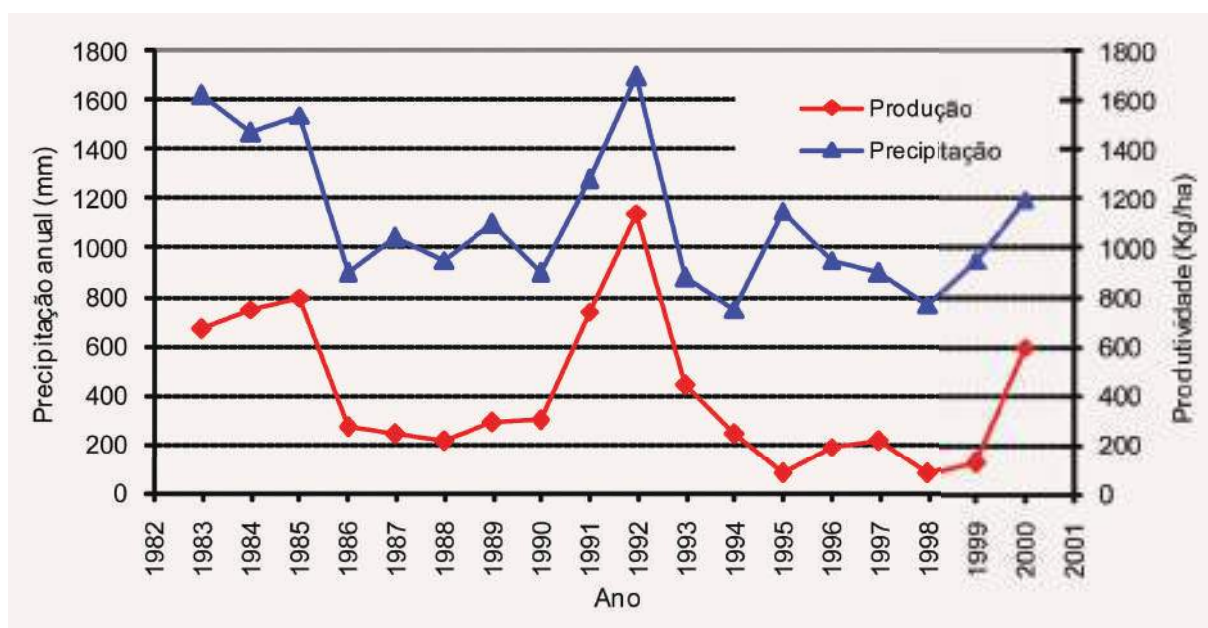


Figura 3. Curvas da precipitação pluviométrica e de produtividade de amêndoas secas de cacau, em Linhares, ES, de 1983 a 2000. Fonte: CEPLAC/ESFIP.

As cultivares de cacau, com eficiente mecanismo de regulação estomática, apresentam menor perda de água por transpiração, ou seja, perdem menos água por transpiração sob condições de déficit hídrico, parecendo ser esta uma importante estratégia de adaptação (Balasimha e Daniel, 1988 e Balasimha *et al.*, 1988). Assim, a tolerância à seca, em cacauzeiros, pode ser caracterizada, principalmente, por eficiente regulação estomática, o que leva à manutenção da turgescência das folhas. Almeida e Valle (2007) afirmam que, para a maioria dos genótipos de cacau, a resistência à seca está associada com o ajustamento osmótico.

## 2.2 Temperatura

A temperatura e a precipitação pluviométrica são os dois elementos climáticos que mais influenciam o crescimento e a produção do cacauzeiro. Como o regime pluviométrico pode ser suplementado pela irrigação, conclui-se que a temperatura, dentre todos os elementos climáticos, é o mais crítico para o crescimento e a produção do cacauzeiro. A temperatura, segundo Almeida e Valle (2007), afeta o crescimento vegetativo, o florescimento e o desenvolvimento do fruto. A radiação solar, a umidade relativa do ar e os ventos também interferem nos mecanismos fisiológicos da planta, no entanto, não impõem limitações ecológicas ao seu cultivo, podendo ser amenizados pelo manejo do sombreamento e pelo uso de barreiras quebra-ventos.

Como discutido por Müller e Valle (2007), não existem evidências experimentais dos limites de tolerância térmica para o cacauzeiro, mas a área representativa, onde é cultivado, situa-se na faixa de 18 a 28 °C de temperatura média mensal. Ernholm (1948) concluiu que o cultivo do cacauzeiro é seriamente limitado em áreas com temperatura mínimas médias mensais abaixo de 15 °C e, temperaturas mínimas absolutas, de 10 °C. Pelos estudos climáticos já realizados nas principais regiões produtoras de cacau, no mundo (Hardy, 1961), as seguintes recomendações podem ser feitas quanto à temperatura, no cultivo do cacauzeiro:

As temperaturas médias ideais, para o bom desenvolvimento e produção do cacauzeiro, são de 25 °C ± 4,5 °C, ou seja, entre 21,5 e 29,5 °C. Estas condições são encontradas apenas em regiões tipicamente tropicais.

A temperatura mínima absoluta não deve ser inferior a 10 °C, com uma média das mínimas, no mês mais frio, acima de 15,5 °C. A formação de gemas florais é inibida com temperaturas muito baixas, razão pela qual não é comum verificar floração do cacauzeiro no Espírito Santo, nos meses de junho, julho e agosto. Este fenômeno explica a ausência de frutos nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, constituindo o chamado “paradeiro de produção”, na referida região.

Apesar de o cacauzeiro não suportar temperaturas abaixo de 10 °C, a morte da planta só ocorre quando a temperatura se aproxima de 0 °C. No entanto, vários processos fisiológicos são inibidos com temperaturas entre 10 e 15 °C.

A planta só floresce e frutifica, de forma satisfatória, quando a temperatura média se mantém acima de 22 °C.

Para um bom crescimento do caule, a melhor temperatura média encontrada é de 25,5 °C.

Sob temperatura ambiente inferior a 15 °C e, umidade relativa do ar acima de 80%, a ocorrência de podridão parda, causada por *Phytophthora* spp., é iminente.

Para assegurar uma brotação adequada de gemas e de novas folhas (lançamento foliar), a temperatura máxima não deve exceder 28 °C e, a variação diária de temperatura, não deve ser superior a 9 °C.

Portanto, pode-se concluir que os limites para o cultivo do cacauzeiro devem estar compreendidos entre 15 °C, para a temperatura mínima média mensal e, 30 °C, para a máxima média mensal. Tem-se observado também que variações bruscas de temperaturas, durante o período de desenvolvimento dos frutos novos (bilros), provocam o secamento de muitos deles, originando o peco fisiológico. Este fenômeno é agravado quando há queda intensa de temperatura e os frutos encontram-se nos estádios iniciais de desenvolvimento. Em regiões com boa disponibilidade hídrica durante o ano, a curva de produção do cacauzeiro acompanha, paralelamente, a curva da temperatura ocorrida no período de cinco a seis meses, antes da colheita. Onde não há limitações de temperatura, nem de água, a produção do cacauzeiro ocorre durante todo o ano, sem grandes oscilações mensais. Em determinadas regiões cacauzeiras da Costa Rica, onde as chuvas são bem distribuídas e a temperatura média mensal se mantém acima de 23 °C, obtém-se

a produção de frutos durante todo o ano. No entanto, a colheita de frutos é sempre mais intensa, cinco a seis meses após a ocorrência de temperaturas mais elevadas, ou seja, acima de 23 °C.

Em experimento conduzido na região cacauzeira da Bahia, o crescimento do caule do cacauzeiro foi mais intenso nos meses mais quentes, ou seja, entre dezembro e março (Trindade Júnior, 1987). A incidência e a disseminação das mais importantes doenças do cacauzeiro, como podridão parda, vassoura-de-bruxa, monilíase, murcha de verticílio, mal do facão, entre outras, são também influenciadas pela temperatura, durante os meses de alta umidade. Quando há queda de temperatura, em presença de alta umidade, a podridão parda torna-se uma doença crítica, provocando grandes danos, principalmente, nos frutos do cacauzeiro. Entretanto, em épocas frias e períodos com escassez de água, a podridão parda não é problema para o cacauicultor.

No Estado do Espírito Santo, as baixas temperaturas, inadequadas para o bom desenvolvimento dos frutos, ocorrem nos meses de inverno. Silva e Leite (1988), ao verificarem a viabilidade do cultivo do cacauzeiro, nos principais agroecossistemas da Bahia e do Espírito Santo, afirmaram que a região cacauzeira do Baixo Rio Doce não é a mais adequada para o seu cultivo. Na região cacauzeira capixaba, além da deficiência hídrica que ocorre no inverno, a temperatura é bastante baixa. Mesmo que haja suplementação hídrica neste período, não há floração das plantas, o que implica dizer que a temperatura limita a produção de cacau, em determinada época do ano.

Outro aspecto importante a ser considerado na cultura do cacauzeiro é a altitude, que não influi diretamente na fisiologia da planta, mas sim, na redução da temperatura, inviabilizando a cultura do cacauzeiro em cotas superiores a 500 m. Têm sido relatados plantios de cacauais em altitudes superiores a 500 m, porém, há sempre outro fator que a compensa, sendo a longitude a mais importante. No Equador, as plantações de cacau ocupam área bastante específica da costa do Pacífico, estendendo-se do nível do mar até 1.300 metros de altitude. Entretanto, o desenvolvimento da cultura é muito limitado nas altitudes elevadas, onde se estabelece o limite de frio para o cultivo (Pastorelly, et al. 2006).

### 2.3 Radiação solar (Luminosidade)

O sombreamento dos cacauais é um assunto polêmico. Ainda persistem opiniões conflitantes quanto aos benefícios do sombreamento para o desenvolvimento e produção do cacauzeiro. Segundo alguns pesquisadores, a prática do sombreamento tem muito mais fundamento agrônomo que fisiológico, sendo o cacauzeiro uma planta tolerante à sombra e não, especificamente, de sombra (Müller e Biehl, 1994; Müller et al., 1996; Costa et al., 2001 e Müller e Valle, 2007). Uma discussão mais detalhada sobre esse polêmico assunto foi apresentada por Souza e Dias (2001). Muitas informações sobre as interações entre a luminosidade, ou radiação solar, e o comportamento fisiológico do cacauzeiro têm sido geradas nas últimas décadas.

A despeito de o cacauzeiro ser uma planta típica de sombra, as vantagens do uso do sombreamento não estão propriamente relacionadas com os níveis de intensidade luminosa, mais favoráveis ao crescimento e produção do cacauzeiro (Alvim, 1977). As principais vantagens residem na conservação do solo e dos recursos hídricos, na maior longevidade das plantações, na maior estabilidade da produção, na menor incidência de pragas e doenças, na menor incidência de vento e de plantas daninhas, e na diversificação da exploração agrícola, com o uso de plantas de interesse econômico, como sombreadoras. Nas parcelas de um experimento, onde várias essências florestais estão sendo testadas, em Linhares, ES, verifica-se desfolhamento intenso em cacauzeiros adultos, onde não há sombreamento de topo (Souza e Augusto, 1991).

É verdadeiro o fato de que áreas produtivas de cacau, no Espírito Santo, onde o sombreamento permanente foi totalmente eliminado, entraram em decadência em poucos anos, chegando ao desaparecimento. O mesmo ocorreu em uma área produtiva (safreira) da Estação Experimental Filogônio Peixoto – ESFIP, pertencente à CEPLAC, em Linhares. Inicialmente, eliminou-se a sombra para instalar um experimento de níveis de adubação em cacauais adultos. Nos primeiros anos, houve um incremento significativo na produtividade das plantas, seguindo-se de um emponteiamento que, após alguns anos, levou-as à morte. Os estudos mostraram que vários foram os fatores que provocaram a morte das plantas, destacando-se o estresse hídrico, os ventos, a maior incidência de pragas e

plantas daninhas. Portanto, não foi somente a exposição direta das plantas ao sol que as levou à morte, embora tal fator tenha sido o principal.

No Equador, na Província de Manambi, onde a radiação luminosa é de apenas 800 a 1.000 horas de luz por ano, devido à nebulosidade causada pela Cordilheira dos Andes, o cacau produz economicamente, a pleno sol.

Enquanto não existe uma recomendação segura, por parte da pesquisa científica, com relação ao plantio de cacau a pleno solo, é aconselhável seguir as recomendações tradicionais do cultivo, segundo as quais o cacaueteiro necessita de dois tipos de sombreamento: o provisório e o definitivo (Figura 4). O sombreamento provisório serve de proteção para as plantas jovens, consistindo no plantio de mudas de bananeira prata, guandu, mamona, mandioca ou de gliricídia, após o balizamento, plantando-as no centro do quadrado formado pelas quatro balizas, ou seja, no espaçamento de 3 x 3 m. Esta recomendação de plantio do cacaueteiro fora da linha do sombreamento provisório não é regra, pois neste caso, impede a mecanização. Em determinadas circunstâncias, especialmente quando é possível mecanizar a lavoura, recomenda-se o plantio das bananeiras, gliricídias, ou outras sombras provisórias, intercaladas nas fileiras dos cacaueteiros, deixando as entrelinhas livres para o trânsito de animais, máquinas e equipamentos.

O sombreamento definitivo, ou de topo, proporciona proteção para as plantas durante toda a fase produtiva, principalmente contra a ação direta dos raios solares, auxiliando também na diminuição da ação dos ventos, favorecendo, assim, as condições ambientais. Salienta-se que o sombreamento excessivo é um dos principais fatores responsáveis pela redução na produção, pois diminui significativamente a atividade fotossintética da planta, como argumentam Almeida e Valle (2007). Tal fato é particularmente importante para a maioria dos novos clones resistentes à vassoura-de-bruxa, os quais requerem maior luminosidade para atender as demandas do crescimento vegetativo vigoroso, da elevada produtividade e dos mecanismos de resistência às doenças e a outros tipos de estresses. De modo geral, para esses clones, recomenda-se em torno de 60% de sombra, no primeiro ano de plantio e, ao redor de 35 a 40%, na idade adulta, com redução gradual do nível de sombreamento. Já o sombreamento deficiente, contribui para o aumento de pragas e, conseqüentemente, causa o emponteiramento da copa, implicando na redução da produção e da produtividade.

Na instalação de uma nova área, recomenda-se o plantio de mudas de sementes de cajá mirim, cedro, jequitibá, farinha seca, seringueira, coco da baía, pupunha, açaí, dentre outras espécies, para o sombreamento do cacau, no espaçamento de 12 x 12, triangular, propiciando sombra uniforme. No caso de cacauetes velhos e decadentes, ou implantados no sistema cabruca (plantio feito sob mata raleada), realiza-se o plantio de espécies para o sombreamento complementar ao já existente na área.

Atualmente, grande ênfase tem sido dada aos sistemas agroflorestais com cacau, onde se enquadram muito bem a seringueira plantada em linhas duplas, as palmáceas, de um modo geral, e outras essências florestais de alto retorno econômico. Tem-se observado, também, plantios de cacau no Espírito Santo, em cafezais velhos e decadentes, em lavouras de mamão prestes a serem substituídas, em plantios antieconômicos de pimenta do reino e em seringais adultos implantados no sistema tradicional.



Figura 4. Cacaueiros sem sombreamento, no semi-árido baiano (A), e cacaueiro novo, sob bananeira (B), com comportamentos vegetativos distintos. Fotos: Carlos Alberto Spaggiari Souza e José Basílio Vieira Leite.

## 2.4 Fotoperíodo

A duração do dia (fotoperíodo) é um valor astronômico da duração do brilho solar, teórico e máximo, variável com a latitude e com a época do ano. Na ausência de estudos específicos sobre a sensibilidade desta espécie ao fotoperíodo, pode-se inferir sobre o assunto, analisando-se a resposta da planta ao fotoperíodo das principais áreas produtoras do Brasil. Os fotoperíodos médios das regiões produtoras de cacau, na Amazônia, Bahia, Espírito Santo e São Paulo, com base em seus valores máximos e mínimos, são, respectivamente, 12,2 e 12,0h, 13,0 e 11,3h, 13,2 e 11,1h, 13,5 e 10,8h. Diante dos dados, observa-se que, na Amazônia, não há praticamente variação do fotoperíodo ao longo do ano (média de 0,2 horas entre verão e inverno). No entanto, na região brasileira, maior produtora de cacau, a sul baiana, o fotoperíodo é bem diferente da Amazônia, com uma variação que chega a 1,7 horas, entre as duas estações, aumentando para o norte do Espírito Santo (mais de 2 horas), e para o Vale do Ribeira, SP (cerca de 3 horas). Assim, o cacau não parece ser sensível ao fotoperíodo. Segundo Almeida (1997), não há dúvidas de que as condições hídricas e térmicas reais, no interior de uma plantação, por exemplo, são muito mais importantes no desenvolvimento do cacauzeiro que o fotoperíodo.

Nas Latitudes onde ocorrem os maiores plantios de cacau no mundo (15 a 20° de latitudes norte e sul), a variação do comprimento do dia é pequena, não mais que uma hora, entre o inverno e o verão. Como a amplitude entre o dia mais longo e o mais curto é muito pequena, aparentemente, o fotoperiodismo natural não afeta os processos fisiológicos do cacauzeiro. Como exemplo da não interferência, a brotação de novas folhas, ou os lançamentos foliares do cacauzeiro, se dá tanto em dias curtos, quanto em dias longos. No entanto, o maior crescimento do caule de cacauzeiros, na Costa Rica, ocorreu nos meses de junho e julho, no período de 1953 a 1955. Entre o crescimento do caule e as horas de luz foi encontrada uma correlação negativa e significativa, ou seja, o crescimento do caule é menor, nos meses de junho e julho, quando a duração do dia é um pouco maior, quando comparada com agosto e setembro. Este menor crescimento, em função do aumento das horas de luz, poderia ser explicado pela maior perda de água por transpiração. Não existem estudos específicos que mostrem a verdadeira influência do fotoperíodo natural na floração e na formação de frutos de cacau.

Pesquisas mais recentes, conduzidas em casa-de-vegetação, mostram que plantas jovens, expostas a um período de 12 horas de luz, interrompido depois de seis horas, por uma hora de escuro, cresceram mais em altura que as plantas que não sofreram interrupção no fornecimento de luz. Embora trabalhos com mudas clonais e seminais não tenham sido conduzidos por um tempo maior, os resultados apresentados sinalizam para uma produção de mudas, mais precoces, quando se altera o fotoperíodo das plantas jovens de cacau. Isso implicaria em obter, mais cedo, frutos e sementes de cacau.

## 2.5 Vento

Os ventos podem causar grandes danos à cultura do cacauzeiro, à semelhança do que ocorre com quase todas as plantas cultivadas. No entanto, o cultivo do cacauzeiro parece ser um dos que mais sofrem os efeitos danosos do vento. A ação dos ventos dificulta a formação e a manutenção dos cacauais, sendo os cacauzeiros jovens os mais sensíveis (Sena Gomes e Kozlowski, 1989). Serra (2004) comenta que os ventos frios podem provocar a queima das folhas dos cacauzeiros, reduzindo-se assim, a área fotossintética da planta e a produção. Ainda segundo este autor, a ocorrência de ventos fortes provoca a dilaceração de folhas e queda de flores, sendo a instalação de quebra-ventos a forma mais adequada de controlar tais danos.

A região cacauzeira do Espírito Santo, notadamente Linhares, em função de sua topografia plana, enfrenta sérios problemas com a ocorrência de ventos (Alvim, 1977). Os ventos que mais ocorrem, na região, são os oriundos do quadrante sul, nos meses frios e secos e, o vento nordeste, nos meses quentes e úmidos, correspondendo às estações da primavera e do verão. Neste caso, assim como no Recôncavo da Bahia, há necessidade do uso de barreiras protetoras (Pinho e Muller, 1987).

Os ventos quentes e, mais ainda, os frios, provocam injúrias mecânicas nas bordas das folhas, principalmente nos períodos de lançamento foliar, fazendo com que as folhas fiquem com os bordos irregulares e secos, desidratando-as e diminuindo sua vida útil (Figuras 5A, B e C). Na região dos

pulvínulos (intumescimento entre a folha e o caule), os ventos provocam injúrias mecânicas (Figura 5D), ocasionando sua queda prematura (Leite et al., 1980). O uso de quebra-ventos torna-se recomendável quando a velocidade do vento é superior a  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ .

Para obtenção de elevada produtividade, é necessário evitar, ao máximo, a penetração de ventos no interior da lavoura. Para isto, recomenda-se o plantio de espécies vegetais nas margens das lavouras, na condição de quebra-ventos (Figura 6), podendo, para este fim, utilizar-se de jambo, jamelão, jaca, pupunha, açai, seringueira, macadâmia, grevílea, eucalipto, sabiá, bananeira, entre outras. Evidentemente, tais culturas protegerão o cacaueteiro contra a ação danosa dos ventos, servindo, também, como uma fonte alternativa de renda para o cacauicultor.

Os ventos frios e secos, juntamente com o ataque de pragas, sobretudo tripes, favorecem o fenômeno conhecido como emponteiramento, ficando a planta restrita ao lançamento de folhas novas, seguido de perdas de folhas, reduzindo a produção. O plantio de barreiras protetoras contra os ventos deve ser bem planejado, uma vez que a barreira sempre compete com o cacaueteiro, principalmente as fileiras próximas. No entanto, quando adequadamente instalada, as perdas decorrentes do quebra-vento são sempre inferiores aos efeitos danosos dos ventos. Alvim (1977) comenta que, nos países africanos, a reduzida produção do cacaueteiro, comumente observada entre fevereiro e junho, é atribuída não apenas à deficiência hídrica, mas também à influência dos ventos procedentes do deserto do Saara, mais freqüentemente entre dezembro e março.

Além das injúrias mecânicas, o vento pode favorecer o ataque e a disseminação de doenças no cacaueteiro, como é o caso do mal-rosado (Almeida e Luz, 1986) e da vassoura-de-bruxa (Luz et al., 1997). A ocorrência de ventos sobre o cultivo é extremamente prejudicial, principalmente quando as plantas são jovens, recomendando-se o emprego de barreiras quebra-ventos nessas situações.

Para cultivos na fase adulta, a maioria das informações, sobre a influência danosa do vento, deriva de observações visuais, sem comprovação experimental. Há que se acrescentar ainda que, áreas protegidas têm incidência de luz reduzida. Nas áreas de cacau irrigado, da região de Linhares, tem sido verificada a ocorrência de ventos frios, em novembro e dezembro, quando os cacaueteiros estão com bilros, que formarão a safra temporã. Nessas condições, o número de bilros secos (peco fisiológico) tem sido muito grande.

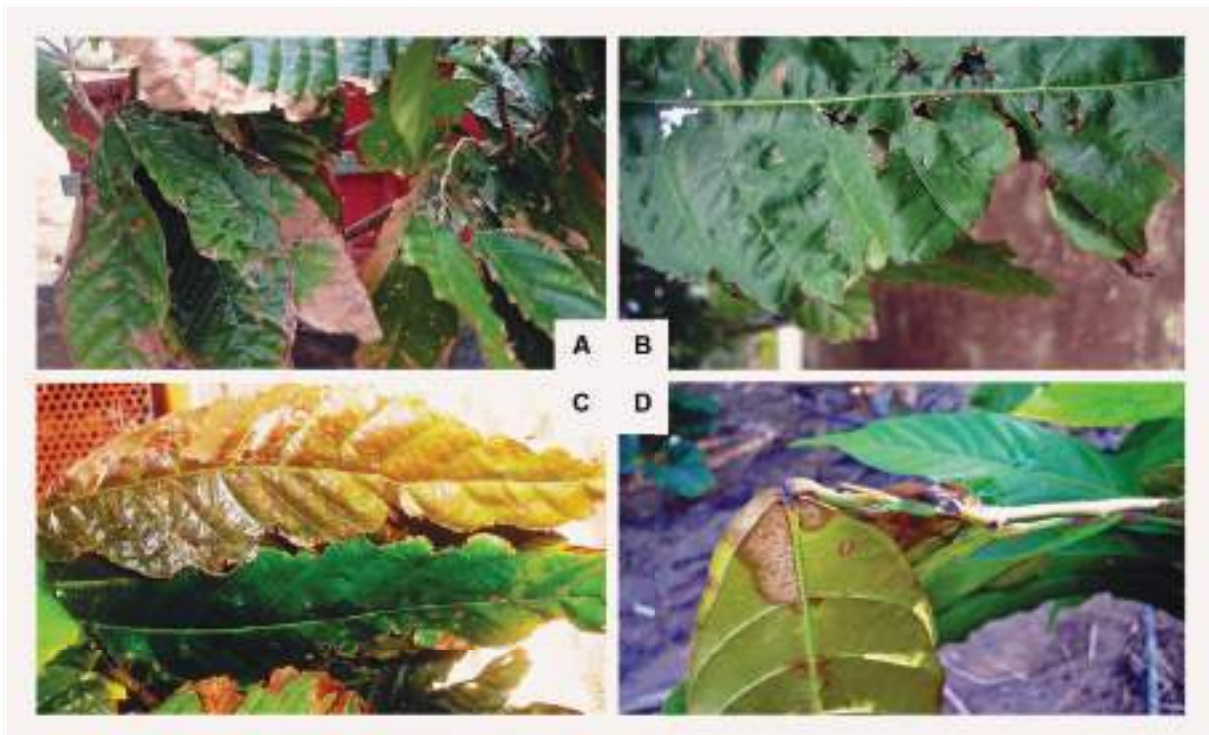


Figura 5. Danos causados pelo vento em folhas de cacaueteiro: folhas velhas com crestamento e necrosadas (A e B); folhas novas necrosadas e danificadas (C) e rompimento do pulvínulo da folha, em função da exposição aos ventos (D). Fotos: Carlos Alberto Spaggiari Souza.





Figura 6. Quebra-ventos em cacauais da região de Linhares – ES. Barreira intercalada de bananeiras e pupunheiras (A) e de eucalipto toleriana (B). Fotos: Carlos Alberto Spaggiari Souza.

## 2.6 Umidade relativa do ar

Nos locais onde o cacauero é encontrado na forma nativa, observa-se a ocorrência de altas precipitações pluviométricas e elevada umidade relativa do ar. Alguns estudos conduzidos em várias partes do mundo não encontraram um efeito direto da umidade relativa do ar na fisiologia da planta de cacao. Este elemento climático está sempre associado a outros, como deficiência de chuvas e incidência de ventos secos. Nas condições de Linhares, quando a umidade relativa do ar está abaixo de 50%, o que normalmente acontece no período de inverno, há influência na floração, reduzindo-a. Mesmo com a prática da irrigação, a resposta da produtividade não é boa, em anos de baixa ocorrência de precipitação pluviométrica, ou de má distribuição de chuvas.

De acordo com Kaufmann (1972), quando a umidade relativa do ar é muito alta, o pólen pode não se dispersar das anteras. Por outro lado, quando é muito baixa, pode ocorrer expressiva desidratação do pólen ou estigma. Sale (1970) demonstrou, sob condições controladas, que intenso florescimento pode ser induzido pela transferência de plantas, de um ambiente com baixa (50 a 60%) ou média (70 a 80%), para outro de alta umidade relativa (90 a 95%).

A umidade relativa do ar também influi diretamente no desenvolvimento de doenças fúngicas, principalmente a podridão parda e a vassoura-de-bruxa que, em anos considerados chuvosos, têm apresentado acentuada ocorrência em várias regiões produtoras de cacao do ES, principalmente quando a umidade relativa do ar ultrapassa 80%, o que é facilmente observado nos meses e anos chuvosos.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

Não existem informações consistentes, na literatura, sobre o efeito do granizo e da chuva muito intensa, na cultura do cacao. No entanto, em se tratando de uma planta de sub-bosque, com folhas e ramos frágeis, é presumível que a ocorrência de granizo seja bastante prejudicial. A própria sensibilidade desta espécie ao vento é um indicativo da baixa resistência aos impactos mecânicos.

Por outro lado, como a cultura do cacao é conduzida, predominantemente, em ambiente sombreado por outras espécies arbóreas de maior porte, resulta em certo grau de proteção ao cacauero. Portanto, sem estudos ou observações mais detalhadas, é difícil estimar o efeito desses fenômenos meteorológicos nos cacauais do Brasil.

### 3.2 Seca e veranico

Como o cacaueteiro é uma planta típica de regiões quentes e úmidas, onde a precipitação está sempre acima de 1500 mm anuais, a quantidade de água adicionada ao solo, pelas precipitações, excede as perdas anuais de água por evapotranspiração. Baseado nisto, não se deu muita ênfase aos trabalhos que envolvem o cultivo do cacaueteiro, em condições de deficiência hídrica severa.

Em estudos sobre relações hídricas, em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), conduzidos por Alvim (1960), evidenciou-se que, os primeiros sinais de senescência apareceram quando as folhas do cacaueteiro haviam perdido 17% de água e, as do cafeeiro, 22%. Ambas as espécies tiveram suas folhas saturadas em 100%, no início dos tratamentos. Neste mesmo trabalho, constatou-se a morte de 50% da área foliar do cacaueteiro, com um déficit hídrico de 25%, enquanto que, para o cafeeiro, foi necessário um déficit hídrico de 57% para a redução da mesma quantidade de área foliar.

Alvim (1975) comenta que, nos locais de precipitação anual inferior a 1200 mm, o cacaueteiro somente apresentará produções economicamente viáveis, com o uso da irrigação. Tais condições ocorrem no norte da Venezuela, onde a precipitação gira em torno de 700 a 800 mm por ano. Ainda segundo este autor, além da quantidade de chuva, a distribuição das precipitações durante o ano é, também, de fundamental importância, pois períodos de déficit hídrico, de mais de três meses seguidos, interferem de forma significativa na produção do cacaueteiro. Tal situação ocorre na região cacaueteira localizada no norte do Estado do Espírito Santo (19° latitude sul e 40° de longitude oeste), onde a precipitação média anual acha-se em 1200 mm, mas 70% deste total ocorrem de outubro a março. Tal situação caracteriza um período de déficit hídrico compreendido de abril a setembro, significativo para o cacaueteiro, refletindo-se em uma variação de produção muito ampla (Augusto, 1997).

### 3.3 Vento intenso (ventanias e vendavais)

Como já descrito anteriormente, o cacaueteiro é uma planta muito sensível aos efeitos dos ventos. Velocidades superiores a  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  (Leite et al., 1980) e de  $3 \text{ m s}^{-1}$  (Sena Gomes e Kozlowski, 1989) são prejudiciais ao cacaueteiro. As plantas jovens de cacau são as que mais sofrem. Mesmo em plantas adultas, na época de renovação foliar, a ocorrência de ventos com tais velocidades causa intenso desfolhamento prematuro da planta.

Como o cultivo do cacaueteiro, nas regiões tradicionalmente produtoras, no Brasil, é conduzido sob sombreamento de topo, o próprio sombreamento atenua os efeitos danosos do vento sobre o cacaueteiro. No entanto, quando há ocorrência de ventos fortes (vendavais), as plantas de sombra caem sobre o cultivo (Figura 7B), formando verdadeiras clareiras na plantação (Figura 7A), causando enormes prejuízos.



Figura 7. Efeito de ventos fortes (vendaval) sobre cacauais adultos, em Linhares – ES. Fonte: Carlos Alberto Spaggiari Souza.

### 3.4 Geadas

Onde o cacauzeiro é cultivado mais intensamente, não há ocorrência de geadas. Portanto, não existem estudos sobre a tolerância do cacau à geada. Apesar de o cacauzeiro não suportar temperaturas abaixo de 10°C, a morte da planta só ocorre quando a temperatura se aproxima de 0°C. No entanto, vários processos fisiológicos são inibidos com temperaturas entre 10 e 15°C. Sementes do cacauzeiro, quando submetidas a temperaturas próximas de zero grau, perdem a viabilidade em poucas horas de exposição.

### 3.5 Chuva excessiva

Pelo fato de o cacauzeiro ocorrer, espontaneamente, em várzeas frequentemente alagáveis, na Amazônia e nos vales dos grandes rios da região cacauzeira da Bahia e do Espírito Santo, sempre se associou, ao cacauzeiro, a imagem de uma planta tolerante ao alagamento, situação frequente por ocasião de chuvas excessivas. Na realidade, o cacauzeiro é uma planta que suporta alguns dias de alagamento, desde que a água não cubra toda a parte aérea da planta e não se mantenha estagnada. Plantas como o mamoeiro, pimenta do reino, maracujá e o próprio cafeeiro, são muito mais sensíveis ao alagamento que o cacauzeiro.

Em uma revisão ampla sobre a ecofisiologia do cacauzeiro, Almeida e Valle (2007) afirmam que o alagamento do solo diminui a área foliar, a condutância estomática e a taxa de fotossíntese, além de induzir a formação de lenticelas e raízes adventícias. Estes autores afirmam ainda que há uma variação intensa, entre clones, na tolerância ao alagamento. Plantas de cacauzeiro, com idade entre seis e sete meses, dos clones CCN 10 e CP 49, após 22 dias de alagamento, demonstraram valores de fotossíntese e de condutância estomática relativamente elevados, ao passo que os clones CEPEC-2008, CEPEC-2007 e PS 13-19 mostraram uma diminuição drástica nestes valores.

Em áreas sujeitas ao alagamento, é importante drená-las mediante a confecção de valetas, para permitir o rápido escoamento do excesso de água, pois além de prejudicar a fisiologia da planta, favorece o ataque de doenças, como a podridão parda, a vassoura-de-bruxa e outras. O agricultor sempre questiona a possibilidade de plantar cacau em áreas baixas, próximas a rios e lagos. Desde que haja um eficiente sistema de drenagem, há viabilidade do cultivo nestas áreas, pois, mesmo que ocorra um curto período de alagamento do solo, as plantas sobreviverão. Não é possível cultivar cacau somente em pântanos e brejos, onde o escoamento da água é deficiente.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do cacauzeiro, como qualquer outra, para expressar todo seu potencial produtivo, requer uma série de condições climáticas adequadas. Por ser planta tipicamente tropical, algumas dessas condições influenciam sobremaneira o seu crescimento, desenvolvimento e produtividade, dentre elas a temperatura, o balanço hídrico, a radiação solar e a insolação. A influência destes elementos climáticos, nos diferentes estádios fisiológicos do cacau e, em especial, na fase crítica do ciclo de produção de frutos, é maior sob a forma interativa e, não, necessariamente, de forma isolada.

Inúmeros estudos sobre a influência dos elementos climáticos na cultura do cacau têm sido realizados em diversas partes do mundo, trazendo informações bastante esclarecedoras a respeito da demanda qualitativa e quantitativa da cultura. Contudo, fatores como fotoperíodo, altitude e, principalmente, sombreamento, ainda necessitam de estudos mais aprofundados, particularmente em função do surgimento da doença vassoura-de-bruxa, nas regiões produtoras de cacau da Bahia e do Espírito Santo. Esta doença está promovendo mudanças significativas na cacauicultura, especialmente pela necessidade de renovação das plantações, com propágulos geneticamente resistentes e, também, na forma de manejo da cultura.

Os produtores de cacau, do Brasil e da América do Sul, precisam se conscientizar que a vassoura-de-bruxa veio para ficar, mesmo que haja uma renovação de todo o parque cacauzeiro, com materiais resistentes à doença. Estudos terão que ser desenvolvidos, não só com relação ao patógeno, como

também em relação ao cacauero e ao ambiente. Há necessidade de um programa de melhoramento mais arrojado e embasado, cientificamente, não só com vistas à resistência a doenças e pragas, como também relativo à produtividade, à qualidade da amêndoa produzida e à tolerância às principais adversidades climáticas, como veranicos, encharcamentos e solos de baixa fertilidade.

Em relação ao fotoperíodo, faltam comprovações científicas pormenorizadas sobre o enquadramento do cacau como planta insensível ao comprimento do dia, embora existam fortes evidências práticas favoráveis a esta hipótese, uma vez que o cacauero é cultivado, desde regiões próximas ao Equador até locais onde o comprimento do dia é bastante variável. A planta de cacau parece ter uma boa plasticidade para se adaptar às variações do fotoperíodo, mostrando, portanto, grande potencial adaptativo.

O surgimento da doença de vassoura-de-bruxa trouxe preocupações no sentido de se entender melhor a relação entre os elementos climáticos, o desenvolvimento, a produção da cultura e a incidência de doenças. Permitiu também vislumbrar a possibilidade de expansão do cultivo para outras áreas não tradicionais, como o semi-árido baiano, onde as condições climáticas são menos favoráveis ao estabelecimento de enfermidades.

A cacauicultura, atualmente, precisa reduzir a sua área plantada e incrementar a sua produtividade, sendo mais eficiente na produção. Igualmente, precisa intensificar a linha do agronegócio, renovando suas lideranças e mantendo relações menos clientelistas com o Estado. O produtor tem que considerar a propriedade como uma empresa rural, atuando como gestor. Precisa também submeter-se a um choque de gestão inovador, em todos os sentidos, seja na convivência com a Mata Atlântica e com a Floresta Amazônica, biomas onde o cacau se abriga, seja na redução da exclusão social. Não há outro caminho a percorrer, a não ser o da cooperação.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2008: Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: AgraFNP, 2008. p. 210.

ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 425-448, 2007.

ALMEIDA, C. M. V. Ecologia de populações naturais. In: DIAS, L. A. S. **Melhoramentos genéticos do cacauero**. Viçosa, MG: FUNAPE/UFV, 2001. p. 81-162.

ALMEIDA, H. A. **Evapotranspiração, balanço hídrico e modelo de estimativa de produção de cacau (*Theobroma cacao* L.) em função da disponibilidade de água no solo e energia**. 1997. 137 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 1997.

ALMEIDA, L. C. C.; LUZ, E. D. M. N. Ação do vento da disseminação do mal rosado do cacauero. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 16, n. 2, p. 133-140, 1986.

ALVERSON, S. W. et al. Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 86, n. 10, p.1474-1486, 1999.

ALVIM, P. T. Flowering of cocoa. **Cocoa Growers Bulletin**, Bourneville, v. 35, p. 23-31, 1984.

ALVIM, P. T. Cacao. In: ALVIM, P. T.; KOSLOWSKI, T. T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 279-313.

ALVIM, P. T. Moisture stress as a requirement for flowering of coffee. **Science**, Washington, DC, n. 132, p. 354, 1960.

ALVIM, P. T. Ecophysiology of cacao. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL CROPS, 1975, Manaus. [Coletânea...]. [S.l.: s.n., 1977?].

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. **An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II**. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 141, p. 399-436, 2003.

AUGUSTO, S. G. **Irrigação complementar nos diferentes estádios fenológicos do cacauero (*Theobroma cacao* L.)**. 1997. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, MG, 1997.

BALASIMHA, D. et al. Comparative drought tolerance of cocoa accessions. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 65, n. 3, p. 271-274, 1988.

BALASIMHA, D.; DANIEL, E. V. A screening method for drought tolerance in cocoa. **Current Science**, Bangalore, v. 57, n. 7, p. 39, 1988.

BARTLEY, B. G. D. **The genetic diversity of cacao and its utilization**. Wallingford: CABI Publishing, 2005. 341 p.

COSTA, E. C. B.; ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Gas exchange, nitrate assimilation and dry-matter accumulation of *Theobroma cacao* L. seedlings submitted to different irradiances and nitrogen levels. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v. 762, p. 224-230, 2001.

CUATRECASAS, J. Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. **Contributions from the United States National Herbarium**, v. 35, p. 379-614, 1964.

DIAS, L. A. S. Origem e dispersão de *Theobroma cacao* L.: novo cenário. In: DIAS, L. A. S. **Melhoramentos genéticos do cacauero**. Viçosa, MG: FUNAPE/UFV, 2001. p. 81-128.

ERNHOLM, I. **Cacao production in South America, historical development and present geographical distribution**. Gothenburg: C.R. Holmqvists, 1948.

FIGUEIREDO, S. F. L. Conservação da viabilidade da semente de cacau. II. Tipificação do fruto e descrição da semente e da germinação. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 16, n. 1, p. 75-88, 1986.

HARDY, F. **Manual de cacao**. Turrialba: IICA, 1961. 439 p.

KAUFMANN, M. R. Water deficits and reproductive growth. In: KOSLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water deficits and plants growth**. New York: Academic Press, 1972. v. 3, cap.3, p. 91-119.

LEITE, R. M. O.; ALVIM, R.; ALVIM, P. T. A. Ação do vento e da radiação solar na ruptura do pulvino foliar do cacauero. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 104, n. 2, p. 235-251, 1980.

LUZ, E. D. M. N.; BEZERRA, M. L. V.; OLIVEIRA, M. L. Cacau (*Theobroma cacao* L.): Controle de doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MONTEIRO, W. R.; AHNERT, D. Melhoramento genético do cacauero. In: VALLE, R. R. **Ciência, tecnologia e manejo do cacauero**. Itabuna: CEPLAC: CEPEC: SEFIS, 2007. p. 189-198.

MOOLEEDHAR, V.; MAHARAJ, W.; O'BRIEN, H. The collection of Criollo cocoa germoplasm in Belize. **Cocoa Growers Bulletin**, London, v.49, p. 26-40, 1995.

MÜLLER, M. W.; BIEHL, S. Mudanças na capacidade fotossintética de folhas de cacauero *Theobroma cacao* L., influenciadas pela intensidade de luz, durante o período de vida. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 11., 1994, Cote D'Ivoire. **Actes...** Yamoussoukro: Cocoa Producers'Alliance, 1994. v. 1, p. 597-605.

MÜLLER, M. W.; VALLE, R. R. Ecofisiologia do cultivo do cacauero. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacauero**. Ilhéus, CEPLAC: CEPEC: SEFIS, 2007. p. 17-41.

MÜLLER, M. W.; SERRANO-MINAR, P. ; BIEHL, B. Fluorescência da clorofila A e a fotossíntese de folhas de cacauero (*Theobroma cacao* L.) influenciadas pela intensidade luminosa durante a ontogênese. In: INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 12., 1996, Salvador. **Proceedings...** Salvador: Cocoa Producer's Alliance, 1996. v. 2, p. 669-679.

PASTORELLY, D. et al. **Manual del cultivo de cacao**. Guayaquil: Anecacao, 2006. 86 p.

PINHO, A. F. S.; MÜLLER, M. W. Bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.) como proteção lateral de cacaueros jovens (*Theobroma cacao* L.), sombreados com bananeiras (*Musa sapientum* L.) no Recôncavo da Bahia. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 17, n. 1, p. 1-8, 1987.

SALE, P. J. M. Growth and flowering of cacao under controlled atmospheric relative humidities. **Journal of Horticultural Science**, Griffith, v. 45, p. 199-232, 1970.

SENA GOMES, A. R.; KOSLOWSKI, T. T. Responses of seedlings of two varieties of *Theobroma cacao* to wind. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 66, n. 2, p. 137-142, 1989.

SERRA, W. S. **Manual do cacauicultor: com perguntas e respostas**. Itabuna: Editora Colorpress, 2004. 241p.

SILVA, L. F.; LEITE, J. O. **Caracterização preliminar dos agrossistemas da região cacauera da BA e ES**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 1988. (Boletim técnico, n. 156).

SOUZA, C. A. S.; AUGUSTO, S. G. **Seleção de plantas para sombreamento de topo em cacauais da região de Linhares-ES**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 1991. p. 160-161. (Informe de pesquisas).

SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S. In: DIAS, L. A. S. **Melhoramentos genéticos do cacauero**. Viçosa, MG: FUNAPE/UFG, 2001. p. 1-48.

TRINDADE JÚNIOR, G. **Cacau: história, manejo e exportação**. 3. ed. Itapetinga: CEPLAC/DEPED/EMARC, 1987. 133 p.

VALLE, R. R. et al. Energy costs of flowering, fruiting and cherrille wilt. **Tree Physiology**, Victoria, v. 6, n. 3, p. 329-336, 1990.

# CAFÉ

*Foto: Meliha Gojak*





## 1. INTRODUÇÃO

Dentre mais de 100 espécies de café existentes, *Coffea arabica* e *Coffea canephora* respondem por quase todo o café produzido e comercializado no mundo. Individualmente, o café arábica (*Coffea arabica*) representa mais de 60% da produção mundial, sendo cultivado em regiões mais frias, geralmente em altitudes superiores a 500 m, responsável pela produção de cafés mais finos, com melhor aroma e sabor, enquanto o robusta (*Coffea canephora*), conhecido também como conilon, responde por, aproximadamente, 40% da produção mundial, adaptado a regiões mais quentes e a altitudes inferiores a 500 m, apresenta bebida neutra, sendo utilizado na produção de café solúvel e nas misturas com arábica (“blends”).

Segundo Carvalho (1957), a planta de café pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*. Tal gênero é constituído de 66 espécies separadas em quatro seções, isto é, *Eucoffea*, *Mascarocoffea*, *Paracoffea* e *Argocoffea*. A seção mais importante, *Eucoffea*, possui cinco subseções, das quais a *Erythrocoffea* é a mais importante comercialmente, pois abrange as principais espécies cultivadas, a *Coffea arabica* L. e a *Coffea canephora* Pierre. O *Coffea arabica* L. é a espécie mais plantada no mundo, em mais de 80% dos países cafeicultores, tendo sua maior difusão no continente americano. Na Ásia, esta espécie quase se extinguiu devido, principalmente, à incidência de ferrugem (*Hemileia* sp.). Atualmente, encontra-se nas partes altas da Índia, com variedades resistentes às raças predominantes do fungo, bem como nas Filipinas e no Sudeste da Indonésia. O *Coffea canephora* alcançou o auge de seu cultivo graças à alta resistência à ferrugem das folhas, sendo primeiramente cultivada em Java, pelos holandeses. Hoje, encontra-se, exclusivamente, em regiões com temperaturas médias anuais entre 21 a 26°C.

No Brasil, as principais regiões que cultivam o *C. canephora* correspondem aos Estados do Espírito Santo e Rondônia, além do sul da Bahia e da região do Rio Doce, em Minas Gerais. É uma espécie com grande capacidade de adaptação (FAZUOLI, 1986), genericamente conhecida por conilon ou robusta, devido ao seu elevado vigor vegetativo. A planta pode atingir 5 m de altura, em condições de temperaturas e precipitações mais elevadas (FAZUOLI, 1986) e caracteriza-se por ser vigorosa, apresentar multicaules e possuir um exuberante sistema radicular (FAZUOLI et al., 2002).

O cafeeiro é originário do continente Africano, sendo o *Coffea arabica* natural das regiões altas da Etiópia, onde as populações se estabelecem no sub-bosque de florestas caducifólias, restrita a altitudes de 1600 a 2800 m, temperatura média anual entre 18°C e 21°C e com uma estação seca bem definida, de dois a quatro meses. No século XV foi levado para a Arábia por mercadores, de onde a planta foi difundida. O *Coffea canephora* é originário de regiões equatoriais baixas, quentes e úmidas da bacia do Congo, com temperatura média anual entre 22°C e 26°C.

No Brasil, o café entrou pelo Pará, seguindo para o Maranhão, Bahia, Vale do Paraíba, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Espírito Santo. Inicialmente, o cultivo ocorria em condições sombreadas, porém, a partir da década de 1950, este manejo foi quase completamente abandonado.

Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, seguido pelo Vietnã e Colômbia. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), na safra 2007/2008 foram produzidos 46

---

1- Eng. Agrícola, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Café, Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (Final), Edifício Sede, 3º andar, sala 305, 70770-901, Brasília-DF. E-mail: jacqueline.meireles@embrapa.br

2- Eng. Florestal, Dr., Pesquisador, CTSM / EPAMIG. E-mail: margarete@epamig.br

3- Eng. Agrônomo, PhD., Pesquisador, IAC / APTA. E-mail: mcamargo@iac.sp.gov.br

4- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, IAPAR. E-mail: caramori@iapar.br

5- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, IAC / APTA. E-mail: fahl@iac.sp.gov.br

6- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, CTSM / EPAMIG (Aposentado). E-mail: gbartholo@gmail.com



milhões de sacas de 60 quilos. Deste total, a produção do café arábica (*Coffea arabica*) foi de 35,48 milhões de sacas, representando 77,2% e, do café conilon (*Coffea canephora*), de 10,51 milhões. O café produzido em 11 Estados, 1.850 municípios, representa 2,3 milhões de hectares plantados, com uma produtividade média de 21,63 sacas por hectare. A cafeicultura brasileira é representada por 300 mil propriedades de tamanhos diversos. Entretanto, dois terços são classificados como de agricultura familiar. O principal produtor nacional é o Estado de Minas Gerais, representando mais de 50% da produção nacional, seguido pelo Espírito Santo, o maior produtor de café conilon, São Paulo, Bahia e Paraná (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2008).

## 1.1 Fenologia

Devido à sua natureza fisiológica, o cafeeiro apresenta uma característica particular quanto à produção, conhecida como bienalidade.

A bienalidade da produção do café deve-se ao fato das folhas serem fontes de elementos fotossintetizados, enquanto os tecidos em crescimento agem como drenos. Assim, o cafeeiro possui uma ação balanceadora da partição de elementos fotossintetizados entre as relações fonte-dreno, pois a fase reprodutiva e a fase de crescimento vegetativo, para o ano seguinte, ocorrem simultaneamente (BARROS, 1997). Em anos de alta produção, a planta direciona os elementos fotossintetizados à formação e crescimento dos frutos, diminuindo a formação de novas gemas vegetativas. Contudo, quando há baixa produção, os elementos fotossintetizados são direcionados à formação de novas gemas vegetativas e, conseqüentemente, a novos ramos. O crescimento dos novos ramos depende da quantidade de frutos em desenvolvimento, nos ramos do ano anterior, e os volumes da produção são proporcionais ao número de nós ou gemas formadas, na estação vegetativa anterior (FAHL et al., 2003).

A sobrecarga dos frutos é, normalmente, acompanhada pela seca de ramos e morte de raízes e, deste modo, após ciclos sucessivos de bienalidade, o cafeeiro entra em declínio, reduzindo sua vida produtiva (DAMATTA et al., 2008). Em geral, esta situação se verifica nas condições de cultivo a pleno sol e é agravada pela desfolha ocasionada por pragas e doenças e pelas deficiências minerais e hídricas que, nas plantas sobrecarregadas são, naturalmente, de mais difícil controle. Estes mesmos autores mencionam ainda que, caso os anos de supercarga estejam associados a temperaturas muito altas e a deficiências hídricas prolongadas, a morte de raízes absorventes, e posterior seca dos ramos, serão muito acentuadas, exigindo do cafeeiro pelo menos dois anos consecutivos de recuperação, levando à trienalidade da cultura.

Ressalte-se, porém, que, comparativamente ao café arábica e, dentro de certos limites, apenas no café conilon a bienalidade da produção é minimizada ou tamponada pela renovação periódica das hastas ortotrópicas, por meio de um intenso e bem planejado sistema de podas (DAMATTA et al., 2007).

Visando manter a planta mais enfolhada, além dos cuidados de manejo dos cafeeiros, como a adubação, controle de pragas e doenças, irrigação, etc, existem alternativas para evitar o estresse ou o depauperamento que levam à baixa produtividade no ano seguinte, consistindo, basicamente, em reduzir ligeiramente a produção alta por planta, através de espaçamentos menores, de arborização, de uso de material genético mais vigoroso e com padrão de florada mais diluído, além da aplicação de poda e outros (MATIELLO et al., 2005).

### ***Coffea arabica***

O ciclo fenológico dos cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L. apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas, que ocorrem em, aproximadamente, dois anos, diferentemente da maioria das plantas que emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Na Figura 1 é apresentado um esquema detalhado das fases fenológicas do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.), nas condições tropicais do Brasil, segundo Camargo e Camargo (2001). O ciclo fenológico, para essas condições, foi subdividido em seis fases distintas, sendo duas vegetativas e

quatro reprodutivas, ou seja: (1) vegetação e formação de gemas foliares; (2) indução e maturação das gemas florais; (3) florada; (4) granação dos frutos; (5) maturação dos frutos; e, (6) repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários.

No primeiro ano fenológico são formados os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, que serão induzidos a se transformarem em gemas reprodutivas (Gouveia, 1984), sendo este processo determinado por condições ambientais (CAMARGO, 1985a; CAMARGO; CAMARGO, 2001). Posteriormente, tais gemas florais amadurecem, entram em dormência e se tornam aptas para a antese, que ocorre por chuva ou por irrigação abundante (RENA; MAESTRI, 1985).

Segundo Camargo et al. (2001), a maturação das gemas florais ocorre quando a evapotranspiração potencial acumulada, desde o mês de abril, atinge os 350 mm, o que implica, para as condições de cultivo de São Paulo, florada principal entre os meses de setembro e outubro. Os autores relatam ainda que a florada principal é bem definida quando se verifica um período de restrição hídrica durante o período de repouso das gemas.

Ano 1											
Período vegetativo											
Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago
(1) Vegetação e formação das gemas vegetativas						(2) Indução e maturação das gemas florais					
									Repouso		
Ano 2											
Período reprodutivo											
Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago
(3) Florada, chumbinho e expansão dos frutos			(4) Granação dos frutos			(5) Maturação dos frutos			(6) Repouso, senescência dos ramos 3° e 4°		
Período reprodutivo (novo período vegetativo)									Autopoda		

Figura 1. Vegetação e frutificação do cafeeiro arábica, abrangendo seis fases fenológicas, durante 24 meses.

Fonte: Adaptado de Camargo; Camargo (2001).

O segundo ano fenológico inicia-se com a florada, seguida pela formação dos chumbinhos e expansão dos grãos, até seu tamanho normal. A ocorrência de forte estiagem nesta fase e o estresse hídrico resultante prejudicarão o crescimento dos frutos. Após esta fase, segue-se a granação dos frutos, em pleno verão, de janeiro a março. Estiagens severas na fase de granação poderão resultar no aparecimento de frutos chochos. A produção é finalizada com a maturação dos frutos, que ocorre a partir de abril.

Segundo Camargo e Camargo (2001) a maturação dos frutos depende da precocidade da cultivar e da acumulação de energia solar, ou seja, do somatório da evapotranspiração potencial, em torno de 700 mm, após a florada principal (CAMARGO et al., 2001). Por último, no período de julho a agosto, ocorre a senescência dos ramos produtivos não-primários, que secam e morrem, limitando o crescimento do cafeeiro.

A fim de detalhar o período reprodutivo, na Figura 2 é apresentada uma escala de avaliação de desenvolvimento dos estádios fenológicos do cafeeiro arábica, conforme proposto por Pezzopane et al. (2003). Esta escala de avaliação baseia-se em fotografias de cada fase, desde o estágio de gemas dormentes até o estágio de grão seco, onde foram atribuídas notas variando de 0 a 11. Estes

autores observaram que, após o período de repouso das gemas dormentes nos nós dos ramos plagiotrópicos (0), ocorre um aumento substancial do potencial hídrico nas gemas florais maduras, devido, principalmente, à ocorrência de um “choque” hídrico provocado por chuva ou por irrigação. Neste estágio, as gemas intumescem (1) e os botões florais crescem, devido à grande mobilização de água e nutrientes (2), se estendendo até a abertura das flores (3) e, posterior queda das pétalas (4). Após a fecundação, principia-se a formação dos frutos, fase esta denominada de “chumbinho” (5), onde os frutos não apresentam crescimento visível. Posteriormente, os frutos se expandem (6), rapidamente. Atingindo o crescimento máximo, ocorre a formação do endosperma, quando segue a fase de grão verde (7), onde ocorre a granação dos frutos. Para a diferenciação do final da fase 6 e início da fase 7, é necessário realizar um corte transversal em alguns frutos para verificar o início do endurecimento do endosperma. A partir da fase “verde cana” (8), caracteriza-se o início da maturação, quando os frutos começam a mudar de cor (verde para amarelo), evoluindo até o estágio “cereja” (9), já podendo diferenciar a cultivar de fruto amarelo ou vermelho. A seguir, os frutos começam a secar (10), até atingirem o estágio “seco” (11).

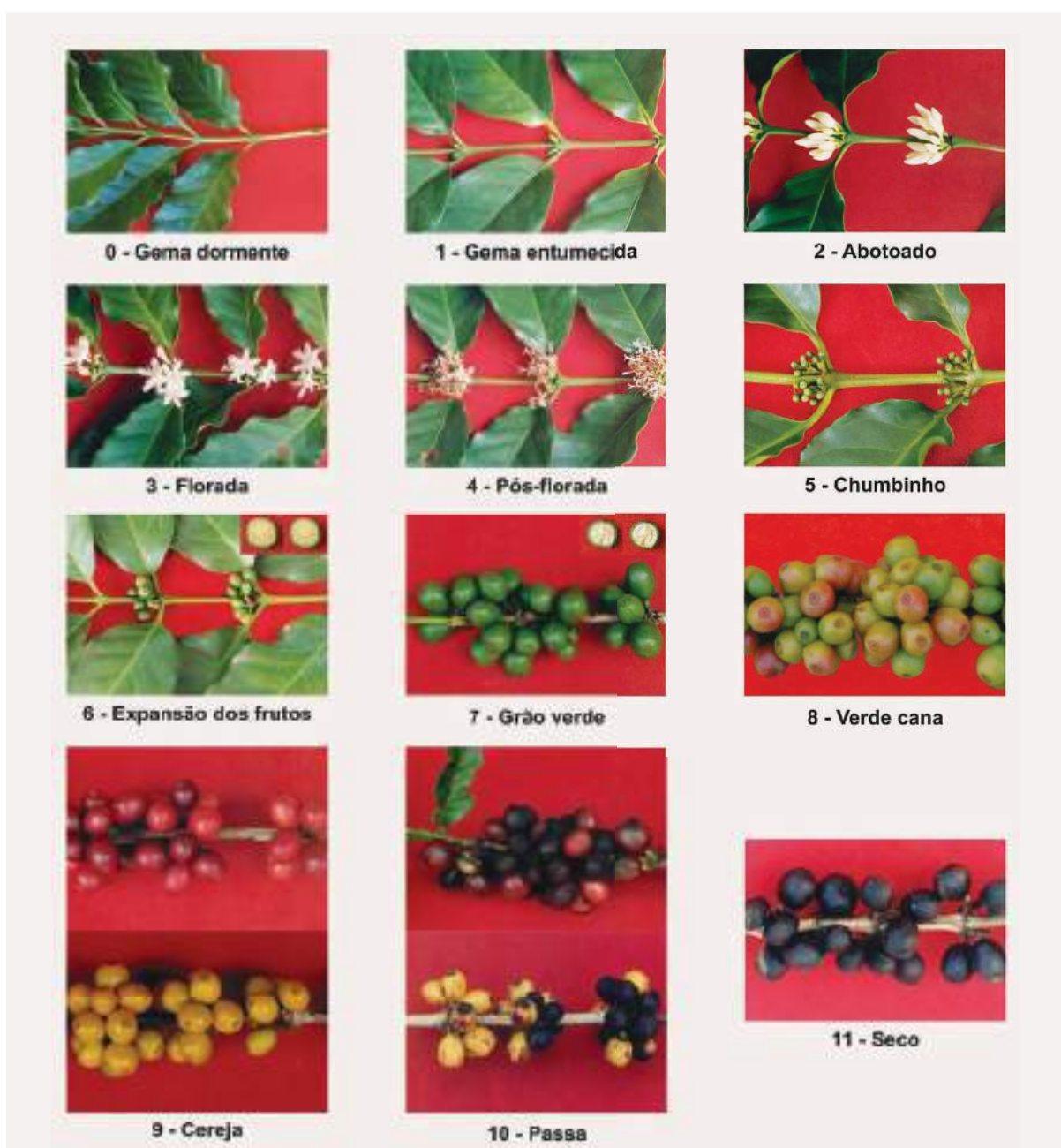


Figura 2. Escala de notas para o desenvolvimento fenológico do cafeeiro. Fonte: Pezzopane et al. (2003).

Recentemente, Morais et al. (2008) também propuseram uma escala fenológica detalhada, para identificar e caracterizar, visualmente, todas as fases de desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro arábica, cv IAPAR 59, na região de Londrina, PR.

Os cafeeiros arábicas são classificados, quanto à maturação dos frutos, em cultivares precoces, médias e tardias, cujo ciclo produtivo vai do florescimento à maturação, durando, aproximadamente, 210, 240 e 260 dias, respectivamente.

As diversas características do café arábica permitem a diversificação de cultivares a serem plantadas em uma lavoura, permitindo o escalonamento da colheita, proporcionando produto de melhor qualidade, com relação ao tipo e bebida, além de representar maior racionalidade e economia no uso da mão-de-obra. São exemplos de cultivares de maturação precoce: Bourbon Amarelo, Icatu Precoce 3282; cultivares de duração média: Mundo Novo, Catucaí e Tupi 2944; cultivares tardias: Catuaí, Icatu e Obatã Vermelho.

### ***Coffea canephora***

Excetuando as regiões equatoriais, o crescimento da parte aérea (crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, formação de nós, expansão foliar, etc.) geralmente é lento no outono - inverno, período seco e frio e de dias curtos. Por outro lado, é rápido na primavera - verão, coincidindo com o início do período chuvoso e com o aumento das temperaturas e do comprimento do dia (CANNEL, 1976, citado por RONCHI; DAMATTA, 2007).

Segundo Rena e Barros (2004), a floração pode ser dividida em quatro fases: a) iniciação, b) diferenciação, c) período de dormência do botão floral, e, d) abertura da flor ou florada. Após as duas primeiras fases, a gema seriada, que poderia dar origem a um ramo ou a uma inflorescência, passa de vegetativa a reprodutiva, levando, irreversivelmente, à formação da inflorescência.

Os botões florais, após passarem por um período de dormência, tornam-se sensíveis ou “maduros” e reagem a estímulos externos desencadeadores de um rápido crescimento, que dura cerca de 10 dias, levando à abertura das flores. Em condições naturais, a florada em café é provocada pelas primeiras chuvas da estação, após um período de seca (Rena et al., 2001) que ocorre, geralmente, em lavouras de conilon não irrigadas do Espírito Santo, em agosto - setembro. É importante ressaltar, entretanto, que, no café conilon, são praticamente desconhecidas as informações sobre fatores luz, temperatura, disponibilidade hídrica, chuvas, relação carbono/nitrogênio, níveis de carboidratos, carga de frutos, hormônios, que supostamente regulam as diferentes fases da floração, assim como os eventos de natureza bioquímica, fisiológica e morfológica, que ocorrem na gema durante a diferenciação, dormência e nos momentos que antecedem a florada (RONCHI; DAMATTA, 2007).

Após a abertura das flores, inicia-se a fase de frutificação do cafeeiro, no qual ocorre o pegamento, o desenvolvimento e a maturação dos frutos.

Em relação à maturação, existem clones chamados precoces, intermediários e tardios. Ressalte-se, entretanto, que a florada destes clones ocorre na mesma época, em agosto - setembro, por ocasião das “chuvas de florada”. Contudo, o período posterior, da abertura da flor à completa maturação (e colheita), é diferenciado para cada clone, isto é, clone precoce – 34 semanas (colheita em maio), clone intermediário – 41 semanas (colheita em junho), clone tardio – 45 semanas (colheita em julho) (BRAGANÇA et al., 2001).

Ronchi e DAMATTA (2007) descreveram o crescimento dos frutos de dois clones de maturação precoce (clone 48 e clone 67) do café conilon, sendo que, após 36 semanas da florada (09 de maio de 2006), haviam completado a maturação. Considerou-se que o crescimento dos frutos se dá em cinco fases distintas, de forma semelhante àquelas para o café arábica, como segue: fase 1) estágio de chumbinho, da florada até a sexta semana após a florada – duração de 8 semanas; fase 2) crescimento rápido, da sexta a 16ª semana após a florada – duração de 10 semanas; fase 3) crescimento suspenso, da 16ª a 18ª semana após a florada – duração de duas semanas; fase 4) granação, da 18ª a 28ª semana após a florada – duração de dez semanas; e fase 5) maturação, da 28ª a 36ª após a floradas – oito semanas (RONCHI et al, dados não publicados, citados por RONCHI e DAMATTA, 2007).

Uma escala para avaliação da maturação de frutos dos clones de café conilon, baseada na alteração da cor do pericarpo, passando de verde a vermelho, foi apresentada por Ronchi e Damatta (2007). Nesta escala foram considerados vários estádios de maturação do fruto, definidos pela cor da casca, separando-os em cinco diferentes classes: 1) fruto verde; 2) fruto verde-amarelado; 3) fruto vermelho claro; 4) fruto vermelho-escuro; 5) fruto preto. Obviamente, esta escala não é absoluta, podendo variar com o material genético.

O café conilon apresenta enorme variação de maturação entre as plantas. A clonagem das plantas precoces, médias ou tardias, separadamente, pode dar uniformidade aos lotes. Segundo Fazuoli et al. (2007b), no café conilon existe uma grande variabilidade para esta característica, ocorrendo cultivares da maturação precoce (270 dias), média (300 dias) e tardia (330 dias).

Bragança et al. (1993; 2001) apresentaram as primeiras variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo, denominadas EMCAPA 8111, EMCAPA 8121 e, EMCAPA 8131, de ciclo de maturação precoce, médio e tardio, respectivamente. Segundo Ferrão et al. (2007), a colheita dessas variedades normalmente ocorre nos meses de abril e maio (EMCAPA 8111), em junho (EMCAPA 8121) e, em julho e agosto, (EMCAPA 8131). A maturação de variedades de café conilon (10 a 12 meses) sempre ocorre depois das variedades de arábica (7 a 9 meses)

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade hídrica

As características do solo são fatores fundamentais da disponibilidade hídrica para qualquer cultura. Segundo Matiello et al. (2005) o café, no Brasil, predomina em Latossolos e Argissolos, classes de solos atualizadas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006). Não são indicados para o cafeeiro, os Neossolos Quartzarênicos, devido à textura muito arenosa e à baixa retenção de água e nutrientes, só podendo ser explorados através de tecnologias avançadas, incluindo adubações muito parceladas e irrigação contínua. Também não são indicados os Plintossolos, devido à pouca profundidade e à má drenagem (alagamento), nem os Neossolos, devido à pequena profundidade (MATIELLO et al., 2005).

A profundidade efetiva do solo, para o cafeeiro, deve ser de, pelo menos, 1,50 m, em boas condições de textura e de estrutura, para que a planta possa manter um sistema radicular suficiente para absorção de água e nutrientes, apesar da maior parte das raízes ativas (finas) concentrar-se na primeira camada de solo, até 0,30 m de profundidade. Esta profundidade poderá ser ainda menor, caso seja adotada a irrigação (MATIELLO et al., 2005). Segundo Camargo et al. (2001) a profundidade média de exploração das raízes de um cafeeiro adulto, para as condições do Estado de São Paulo, é de aproximadamente um metro.

O café arábica, como planta de sub-bosque, tem necessidade de regular a quantidade de umidade, no ar e no solo, que é dada pelas chuvas. A quantidade pluviométrica ideal às suas reservas está compreendida entre 1200 e 1800 mm por ano (ALÈGRE, 1959). Tal quantidade também pode ser aplicada ao conilon, embora esta planta pareça adaptar-se melhor que o arábica às precipitações superiores a 2000 mm (COSTE, 1992, citado por DAMATTA; RAMALHO, 2006) .

A disponibilidade hídrica é um dos principais fatores da produtividade do cafeeiro. Segundo Camargo e Camargo (2001), nas fases fenológicas de vegetação e formação das gemas foliares (fase 1), florada (fase 3) e granação dos frutos (fase 4), a deficiência hídrica pode reduzir muito a produtividade. Por outro lado, uma deficiência hídrica entre julho e agosto, período anterior à antese, pode se tornar benéfica, favorecendo uma florada mais uniforme nas primeiras chuvas de setembro.

Analisando as necessidades hídricas do cafeeiro de sequeiro e os balanços hídricos de diversas regiões de cultivo, Camargo (1977) estabeleceu os limites de cultivo de arábica e conilon, com base no déficit hídrico anual (DHa), segundo o método de Thornthwaite e Mather (1955), para a capacidade de água disponível no solo igual a 125 mm, definindo-se, como áreas aptas, aquelas com DHa inferior a 150 mm; áreas marginais, aquelas com DHa entre 150 e 200 mm; e, áreas inaptas, aquelas com DHa superior a 200 mm.

Mesmo nas áreas inaptas ou marginais, o cultivo do café torna-se possível através do uso da irrigação. A utilização da irrigação suplementar, hoje, é uma tecnologia viável, principalmente porque há resultados mostrando a eficácia de suspender a irrigação no período mais seco do ano, visando à sincronização da florada. No caso de áreas aptas ao cafeeiro de sequeiro, o benefício da irrigação é garantir o pegamento dos chumbinhos após a florada induzida por chuva. Por outro lado, há ainda o benefício de garantir as floradas de setembro, quando não há condições climáticas mínimas para induzir o florescimento, como foi o ano de 2007.

Santinato et al. (1996), ao discutirem aptidão hídrica do cafeeiro conilon, afirmaram que as regiões cujo déficit hídrico anual varia entre 150 e 200 mm são consideradas como aptas ao seu cultivo, mas podem exigir irrigações ocasionais. Regiões com DH entre 200 e 400 mm podem ser consideradas aptas, desde que se utilize irrigação suplementar. Já nas regiões com DH maior que 400 mm, o plantio de café conilon só será possível com a utilização da irrigação.

Saraiva e Silveira (1995), citados por Silva e Reis (2007), estudando a variabilidade e os efeitos da irrigação na produção do café conilon, nos diferentes estádios fenológicos da cultura, verificaram que os períodos compreendidos entre o abotoamento e a floração e, da floração ao pegamento dos frutos, foram os melhores períodos para irrigar o cafeeiro.

De forma geral, pode-se dizer que as fases fenológicas dos cafeeiros arábica e conilon, mais exigentes em suprimento hídrico, são as seguintes: vegetação e formação de gemas foliares (fase 1); florada (fase 3) e granação dos frutos (fase 4).

Como o café é uma cultura perene e os dados fenológicos e de produtividades considerados são provenientes de cafeeiros adultos, o valor do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) adotado no cálculo do balanço hídrico se iguala à unidade ( $K_c=1$ ), assumindo-se, assim, plena cobertura do terreno pelas plantas adultas, conforme sugerido por Camargo e Pereira (1994).

Na maioria das culturas anuais, o valor de  $K_c$  aumenta a partir da emergência até um valor máximo no período em que é alcançado o pleno desenvolvimento, diminuindo a partir daí até a maturação (DOORENBOS; KASSAN 1979). Nas culturas perenes como o cafeeiro, a curva de  $K_c$  apresenta valores baixos nos períodos de formação e estabelecimento da cultura no campo e, quando esta atinge dossel máximo, a curva de  $K_c$  tende a se estabilizar, com valores próximos à unidade, ocorrendo oscilações temporais decorrentes de processos fisiológicos e do manejo da cultura.

Para cafezais com manejo adequado e altura de 2 a 3 m, em clima subúmido, Allen et al. (1998) propõem  $K_c$  entre 0,90 e 0,95 e, entre 1,05 e 1,10, em solo nu e na presença de plantas daninhas, respectivamente, com a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith, versão FAO. Foram obtidos, por Arruda et al. (2000), valores de coeficientes de cultura ( $K_c$ ) entre 0,73 e 0,75, nos primeiros anos de idade da planta e, entre 0,87 e 0,93, aos sete e oito anos, respectivamente. Villa Nova et al. (2002) verificaram, para cafeeiros cultivar Mundo Novo, valores de  $K_c$  entre 0,5 e 1,2 e, entre 0,9 e 1,2, sem mato e com mato, respectivamente, e valores de  $K_c$  de 0,760 a 1,184, entre as fases fenológicas, no período de 15 e 35 meses após o plantio, com uma densidade de 4.000 plantas.ha.<sup>-1</sup>.

Doorenbos e Pruitt (1977) recomendam, para o cafeeiro, o emprego do coeficiente de cultura em torno de 0,9 durante todo o ano, em cultivos convencionais, e valores de 1,05 até 1,1, em casos em que se permita o crescimento das plantas daninhas. Foram determinados, por Coelho (2004), valores de  $K_c$  entre 0,1 e 0,5, para o cafeeiro 'Acaiaí Cerrado' irrigado por gotejamento, com espaçamento de 3,5 m entre linhas de plantio e, de 0,8 m, entre plantas na linha, no período entre 4 e 11 meses após o plantio, ou seja, período inicial de crescimento dos cafeeiros.

Recentemente, Flumignan e Faria (2008; 2009), utilizando lisímetros de pesagem, instalados em Londrina, PR, quantificaram o consumo hídrico de cafeeiros de a cultivar IAPAR 59, não irrigado e irrigado por aspersão e gotejamento, durante quatro anos após a implantação da lavoura (Tabela 1). Observa-se que o valor médio anual de  $K_c$  foi maior para o tratamento irrigado por aspersão (0,99, 1,03, 1,30 e 1,10 para o primeiro, segundo, terceiro e quarto ano, respectivamente) e, menor, para o irrigado por gotejamento (0,92, 1,22 e 1,00 para o segundo, terceiro e quarto ano, respectivamente).

No caso do café conilon, é difícil obter valores de referência, já que informações sobre o assunto são muito escassas, na literatura.

**Tabela 1. Valores de coeficiente de cultura (Kc), para o cafeeiro arábica, cv IAPAR 59, obtidos em sistemas irrigados por aspersão e gotejamento, na região de Londrina, PR. Fonte: Flumignan e Faria (2008; 2009).**

Ano agrícola	Estação	Kc		Ano agrícola	Estação	Kc	
		Aspersão	Gotejamento			Aspersão	Gotejamento
2002/03 (1º ano)	Primavera	0,69	-	2004/05 (3º ano)	Primavera	1,14	1,07
	Verão	1,08	-		Verão	1,50	1,51
	Outono	1,06	-		Outono	1,46	1,35
	Inverno	1,14	-		Inverno	1,10	0,95
	Média	0,99	-		Média	1,30	1,22
2003/04 (2º ano)	Primavera	1,08	0,85	2005/06 (4º ano)	Primavera	1,01	0,94
	Verão	1,15	1,05		Verão	1,16	1,06
	Outono	1,12	1,07		Outono	1,16	1,00
	Inverno	0,79	0,74		Inverno	1,05	1,01
	Média	1,03	0,92		Média	1,10	1,00

Picini et al. (1999) desenvolveram e testaram, para Mococa – SP, modelos matemáticos agrometeorológicos que relacionam a fenologia, a bienalidade e a produtividade do cafeeiro, a partir de dados de produtividade de cafeeiros adultos, variedade Mundo Novo, correspondente ao período de 1966/67 a 1973/74. Esses modelos basearam-se na penalização da produtividade potencial, em função da produtividade do ano anterior e das relações ER/EP, derivados de balanços hídricos decendiais seqüenciais, durante os estádios fenológicos. A penalização foi feita à medida que houve restrição hídrica para a planta, durante os diferentes estádios fenológicos, considerando coeficientes de resposta, ao suprimento hídrico, incorporados numa função aditiva ou multiplicativa. Os melhores ajustes entre dados observados e estimados foram obtidos com modelo aditivo que relaciona o fator hídrico, durante os trimestres jun/jul/ago, set/out/nov e dez/jan/fev, os quais apresentaram coeficientes de resposta ao suprimento hídrico (ky) de +0,38 (ky1), +0,61 (ky2) e +0,18 (ky3), respectivamente, para os estádios fenológicos da dormência das gemas-início do florescimento, florescimento-formação do grão e formação do grão-maturação.

Camargo et al. (2003) desenvolveram e testaram modelos fenológico-agrometeorológicos, para monitoramento e estimativa da quebra relativa de produtividade esperada do café, os quais consideram os efeitos ambientais como processos fisiológicos determinantes da produção. Consideraram, no componente agrometeorológico, diferentes coeficientes de sensibilidade ao estresse hídrico (deficiência) e térmico (geada e temperatura elevada), em forma de penalização multiplicativa durante as fases fenológicas da cultura. No caso do componente hídrico, este foi baseado no balanço hídrico seqüencial decendial. A deficiência hídrica foi quantificada através do déficit de evapotranspiração relativa [1-ETr/ETp], ajustada por diferentes fatores de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (Ky) ocorrido nas diferentes fases fenológicas do cafeeiro, na forma de produtório. Posteriormente, Santos (2005) modificou, parametrizou e testou o modelo matemático-agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de produtividade do cafeeiro, em níveis de planta, talhão e propriedade rural, em diversas regiões cafeeiras. Santos e Camargo (2006) também modificaram e parametrizaram o modelo proposto por Camargo et al. (2003), considerando diferentes regiões de São Paulo.

Com base nos resultados de Camargo et al. (2003), Santos (2005), Santos e Camargo (2006), Camargo (2007) apresentou os seguintes valores de Ky, conforme a fase fenológica do cafeeiro: vegetação e formação das gemas vegetativas (Set-Mar), Ky entre 0,00 – 0,01; indução e maturação das gemas florais (Abr-Ago), Ky entre 0,04 – 0,00; florada, chumbinho e expansão dos frutos (Set-Dez), Ky entre 0,02 – 0,20; granação dos frutos (Jan-Mar), Ky entre 0,15 – 0,05; maturação dos frutos (Abr-Jun), Ky entre 0,04 – 0,00; repouso e senescência dos ramos (Jul-Ago), Ky entre 0,00 – 0,00.

O mesmo autor menciona que, na fase 3, correspondente à florada, chumbinho e expansão dos frutos, os valores de Ky foram mais elevados, indicando que esta fase é a mais crítica quanto ao fator hídrico.

Na literatura consultada, verifica-se a falta de informações sobre o fator de resposta do café conilon ao déficit hídrico.

## 2.2 Temperatura do ar

A temperatura é o elemento climático mais importante para definir a aptidão climática do cafeeiro, em cultivos comerciais (Camargo, 1985a). A maioria das informações disponíveis deriva de estudos e observações feitas com o café arábica, existindo poucas informações sobre o efeito da temperatura no café conilon.

A aptidão térmica para o café arábica, segundo Camargo (1977), é dada por faixas de temperaturas médias anuais, classificadas em apta, entre 18°C e 23°C; marginal, entre 17°C e 18°C ou 23°C e 24°C; e inapta, menor que 17°C ou maior que 24°C. Para o café conilon, Camargo (1985a) apresenta a seguinte classificação: apta, maior que 22°C; marginal, entre 21°C e 22°C e inapta, menor que 21°C.

Quando a temperatura média anual se encontra em torno de 23°C, o cafeeiro arábica geralmente apresenta redução de crescimento, no período do verão, e sintomas intensos de descoloração foliar provocados pela escaldadura. No café conilon, estes sintomas de escaldadura não são muito observados (SANTINATO; FERNANDES, 2005). Em regiões com temperaturas médias anuais superiores a 23°C (inaptas ao cultivo do cafeeiro arábica) é comum ocorrer abortamento floral e a má formação de flores denominadas “estrelinhas”, resultando em baixa produtividade do café arábica (SANTINATO; FERNANDES, 2005). Alves (2008) relata que a ocorrência de temperatura ambiente elevada, associada a um intenso déficit hídrico, durante o início da florada, pode provocar a morte dos tubos polínicos, pela desidratação das flores, resultando nas conhecidas “flores estrelinha”. No caso do café conilon, é provável a ocorrência de situação similar a partir de 26°C.

A ocorrência de períodos prolongados, com temperaturas máximas do ar superiores a 34°C, nos meses de outubro e novembro, também são responsáveis pelo abortamento das flores e a formação de flores-estrelinha, o que implicará em menor produção, principalmente nos anos em que a estação seca se prolonga (IAFFE et al., 2005). Arruda et al. (1999), analisando a influência do clima e da disponibilidade hídrica na produção de cafeeiros arábica, em Pindorama, SP, observaram correlações negativas entre temperaturas máximas e o desenvolvimento nas fases de chumbinho-granação (trimestre nov-dez-jan), florescimento (trimestre ago-set-out), florescimento-chumbinho (trimestre out-nov-dez), e chumbinho-granação (trimestre nov-dez-jan). Este efeito negativo foi relacionado com o fenômeno denominado flores-estrelinha e o abortamento floral. Estudos realizados por Iaffe et al. (2000) mostraram resultados concordantes. Além disso, em temperaturas médias elevadas, o cafeeiro arábica apresenta frutos com desenvolvimento e maturação bastante precoces, ocasionando perda da qualidade do produto, pois a colheita e a secagem coincidirão com o período chuvoso (CAMARGO, 1985a).

Estudos realizados por Iaffe et al. (2001b), para o café arábica, cv. Mundo Novo, na região de Campinas, SP, indicaram a temperatura-base de 11 °C, como limite inferior. A soma média entre o florescimento e a colheita foi de 2642 graus-dia, e o período médio, de 237 dias. Menores desvios padrões foram observados após o desconto das temperaturas médias de dias com registros de temperaturas máximas superiores a 32°C. Já na região de Botucatu, SP, Iaffe et al. (2001a) determinaram uma temperatura basal inferior de 12,3°C e, superior, de 34°C, para o subperíodo do florescimento à colheita, para o cafeeiro Mundo Novo. Posteriormente, Lima (2006) verificou temperaturas-base inferior e superior para as cultivares Acaí Cerrado e Rubi, de 12,9°C e 32,4°C, respectivamente, do transplântio até a primeira florada, na região de Lavras, MG. Estudos realizados por Pezzopane et al. (2008) determinaram,



para o café arábica, cv. Mundo Novo, a temperatura base inferior de 10,2°C, e 2887 graus-dia.

A temperatura-base e as necessidades de acúmulo térmico, para café conilon, ainda não são bem conhecidas.

Em temperaturas inferiores a 18°C, o café arábica apresenta exuberância vegetativa e baixa diferenciação floral, o que resulta em baixa produtividade, além de sintomas típicos de crestamento foliar, no período de inverno, quando associadas ao vento. Para o café conilon, estes sintomas ocorrem em temperaturas médias anuais abaixo de 22°C (SANTINATO; FERNANDES, 2005).

Temperaturas inferiores a 13°C causam sérios distúrbios ao café arábica, paralisando o crescimento da parte aérea, em consequência de várias desordens fisiológicas, dentre outras, a drástica redução da translocação de fotoassimilados (a seiva orgânica que se movimenta no floema, da fotossíntese e da assimilação do nitrogênio pelas folhas (RENA, 2000). Este autor ainda relata que no café arábica, o abaixamento da temperatura, de 24°C para 15°C, causa redução de 15% na assimilação fotossintética do carbono, após o primeiro dia de frio e, de 40%, após o sexto dia.

Sob resfriamentos intensos, há uma descoloração das folhas mais jovens, devido à degradação da clorofila, as quais podem vir a cair, alguns dias mais tarde. O crescimento cessa com temperaturas abaixo de 10°C.

Um outro aspecto importante para a fisiologia e desenvolvimento do cafeeiro é a relação entre a temperatura noturna e a diurna.

Segundo Matiello et al. (2005) as temperaturas ótimas, para o crescimento vegetativo do cafeeiro arábica jovem (até 12 meses de idade), são de cerca de 30°C, durante o dia e, de 23°C, durante a noite. À medida que a planta cresce, as temperaturas diminuem, sendo que, após um ano e meio de idade, as temperaturas ideais, diurnas e noturnas, situam-se em torno de 23°C e 17°C. A máxima fotossíntese ocorre a uma temperatura de 24°C, havendo um decréscimo de 10% no processo, com o aumento de cada grau. Aos 34°C, a fotossíntese líquida do cafeeiro é nula.

No solo, a temperatura ideal para o desenvolvimento radicular situa-se na faixa de 24 a 27°C e, quando superior a 33°C, prejudica o desenvolvimento do cafeeiro.

Para as flores, a melhor temperatura é de 23°C, durante o dia e, de 17°C, à noite, sendo que a formação de flores decresce em temperaturas mais elevadas, chegando até a falta de floração quando as temperaturas diurnas atingem 30°C e, as noturnas, 23°C (MATIELLO et al., 2002; THOMAZIELLO et al. 2000). Deve-se considerar também que a influência da temperatura sobre a iniciação floral apresenta relação direta com o crescimento vegetativo e com as condições gerais da planta. Em condições favoráveis de temperatura, as plantas de café tornam-se mais vigorosas e desenvolvem maior número de gemas por nó produtivo.

Como o café conilon originou-se em regiões quentes e úmidas, similares às regiões equatoriais, as temperaturas ideais para esta cultivar são superiores às exigidas para o arábica.

### 2.3 Radiação Solar

A grande maioria das pesquisas indica que o cafeeiro exibe folhas com características típicas de sombra, muito provavelmente, uma consequência direta de sua origem, nas florestas tropicais da Etiópia.

Em vários casos, têm-se demonstrado valores relativamente baixos para a irradiância de compensação (ponto de compensação lumínica), da ordem de 2 a 20  $\mu\text{mol}$  (fótons)  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , conforme relatado por Rena et al. (1994). Entretanto, estudos realizados por Sondahl et al. (1976) e Fahl et al. (1994) mostraram que o ponto de compensação lumínica para o cafeeiro arábica variou de 26 a 34  $\mu\text{mol}$  (fótons)  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sendo que os valores mais elevados são observados em plantas crescidas em condições de baixa intensidade luminosa.

Com relação à irradiância de saturação (ponto de saturação lumínica), observa-se, em cafeeiro arábica, que ocorre em níveis de irradiância relativamente baixos. Em folhas expostas de plantas de café, conduzidas a pleno sol, tem sido observados valores de 600 a 700  $\mu\text{mol}$   $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , enquanto que, para plantas conduzidas sob condições de 50% da luz solar plena, os valores observados situam-se ao redor de 360 a 380  $\mu\text{mol}$   $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (KUMAR; TIESZEN, 1980; FAHL et al. 1994).

Segundo Damatta e Rena (2002), a fotoinibição sempre resulta em perda de eficiência fotoquímica do fotossistema II (FSII) e, freqüentemente, em redução das taxas de fotossíntese sob luz saturante. No cafeeiro, uma vez que se atinja a irradiância de saturação em torno de  $600 \mu\text{mol (fótons)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , em folhas expostas, a fotossíntese prosseguirá sem decréscimos substanciais até cerca de  $1.200 \mu\text{mol (fótons)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Kumar; Tieszen, 1980), ou mesmo de  $1.400 \mu\text{mol (fótons)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (RAMALHO et al., 2000, citados por DAMATTA; RENA, 2002). Isso pressupõe que o café arábica tenha mecanismos para dissipar, termicamente ou por vias fotoquímicas, o excesso da energia incidente, o que explicaria, em parte, a plasticidade relativamente elevada de sua maquinaria fotossintética às variações da irradiância.

Damatta e Rena (2002) relatam que, a pleno sol, cafeeiros bem adubados devem dissipar satisfatoriamente o excesso de energia que recebem e, portanto, danos fotoinibitórios e, ou, fotooxidativos, caso ocorram, devem afetar apenas marginalmente a produção do cafezal. Potenciais fotodanos concentrar-se-iam, principalmente, na folhagem mais exposta à irradiância. Considerando-se a planta inteira, contudo, espera-se que a fotossíntese global aumente a pleno sol, na medida em que as folhas internas passem a contribuir mais expressivamente para a assimilação do carbono, por receberem maior fluxo de fótons. Mesmo nas folhas mais expostas, a fotoinibição, avaliada por decréscimos na fotoquímica do (FSII), pode ser encarada como uma estratégia de aclimação do FSII, traduzindo-se em proteção contra níveis de luz parcialmente danosos. Com efeito, tanto em café arábica quanto em conilon, a redução da atividade do FSII (fotoinibição) pode não se traduzir em decréscimos nas taxas de fotossíntese. Assim, a fotoinibição, por si, não deve resultar em reduções substanciais na produtividade de cafeeiros cultivados em campo, o que explicaria, pelo menos em parte, o sucesso do cultivo de variedades comerciais a pleno sol (DAMATTA; MAESTRI, 1997).

No entanto, em certas condições, os mecanismos de defesa da planta podem não ser suficientes para dissipar a energia excedente e, neste caso, a ocorrência de fotodanos pode ser bastante expressiva (DAMATTA; RENA, 2002). Dentre tais condições destacam-se cafezais mal adubados, carga pesada de frutos, déficit hídrico, baixas temperaturas, especialmente baixas noturnas seguidas de dias ensolarados, temperaturas elevadas, ou qualquer outro fator que leve ao depauperamento da planta. Estes fatores, combinados ou não, podem acarretar uma sequência de eventos potencialmente catastróficos, especialmente em cafezais que recebem a radiação solar da tarde. Segundo estes autores, como consequência visível, formam-se áreas cloróticas-necróticas (escaldadura), que culminam na abscisão da folha, podendo tais sintomas aparecer, também, nos frutos. Nessas condições, aumentam a incidência do bicho-mineiro, cercosporiose e ferrugem, levando também à abscisão foliar. Desse modo, não somente a folhagem exposta, mas também as folhas mais internas da copa, passam a receber fluxo de fótons superior ao necessário para saturar a fotossíntese, o que potencializa mais ainda a abscisão foliar. Em muitos casos, o ramo seca ou cresce pouco, acarretando a quebra de produção na colheita seguinte. A arborização, neste contexto, poderia minimizar, sobretudo, a ocorrência de escaldadura, especialmente se associada à irrigação.

A capacidade de absorção de radiação fotossinteticamente ativa varia com o estado nutricional da planta, principalmente com os teores foliares de nitrogênio, com o nível de sombreamento e com a idade da folha (FAHL et al. 1994).

O índice de área foliar ideal para o cafeeiro varia de 5 a 7, onde se observa uma absorção de luz ao redor de 75% da energia total incidente. Desta porcentagem de energia absorvida, cerca de 40% é consumida no processo de transpiração, em torno de 25%, no processo de aquecimento e, apenas 10%, é utilizada nos processos da fotossíntese (HUERTA; ALVIM, 1962; VALENCIA, 1999).

As taxas de fotossíntese líquida do café conilon são relativamente baixas (DAMATTA et al., 1997; DAMATTA et al., 2000) registrando-se, até então, valores máximos em torno de  $11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para folhas isoladas PINHEIRO et al, 2004). Isso indica que o conilon, assim como as cultivares de café arábica, exibe baixa eficiência fotossintética em relação à da maioria das plantas lenhosas (CANNEL, 1985, citado por RONCHI; DAMATTA, 2007). Por outro lado, a capacidade fotossintética (fotossíntese potencial) determinada sob luz e  $\text{CO}_2$  saturantes e, à temperatura ótima, alcança valores da ordem de  $30 \text{ a } 35 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (DAMATTA et al., 1997). Pouco se sabe sobre os mecanismos que explicariam a magnitude das taxas fotossintéticas do cafeeiro, mas, aparentemente, uma alta resistência à difusão de  $\text{CO}_2$ , desde a atmosfera até o cloroplasto, parece ter papel preponderante nesta resposta.

Um aspecto muito importante, para a produtividade e a longevidade do cafezal, é o sombreamento. A arborização pode reduzir sensivelmente as variações bienais da produção de café. Conforme discute Cannel (1985), citado por DAMATTA et al. (2007), o cafeeiro produz poucas flores em seu ambiente nativo sombreado e, portanto, não desenvolveu, ao longo de sua evolução, mecanismos para manter sua carga de frutos balanceada com a disponibilidade de carboidratos e de minerais. De fato, o cafeeiro parece ter evoluído em se tratando de levar adiante o enchimento de todos os frutos formados após a fase de expansão dos frutos, conforme observado por Ronchi et al. (resultados não publicados) em Sooretama, ES. De acordo com esta linha de raciocínio, as causas da superprodução em cafezais, a pleno sol, residiriam na profusão da iniciação floral, na baixa capacidade de remoção natural de parte dos frutos e na força do dreno (sementes), ao invés de baixas taxas fotossintéticas, por exemplo (CANNEL, 1985 citado por DAMATTA et al., 2007). Esta superprodução levaria à exaustão das reservas da planta, comprometendo fortemente o crescimento e a produção do ano seguinte. Portanto, o emprego da arborização, ao permitir a redução da emissão de botões florais, deve concorrer para “tamponar” as flutuações bienais da produção, evitando superproduções e atenuando o depauperamento da planta, permitindo-lhe produções satisfatórias por mais tempo (DAMATTA; RENA, 2002).

Em cafezais a pleno sol e com produção elevada, a ocorrência de altas temperaturas e deficiência hídrica provocam má formação dos grãos, resultando em menor peneira e elevada porcentagem de chochamento, com queda de produção e, conseqüentemente, de renda. Além disso, o amadurecimento é acelerado pelo excesso de radiação solar e de temperatura, desfavorecendo o desenvolvimento das propriedades organolépticas que conferem qualidade à bebida. Ao reduzir o excesso de produção e desacelerar o processo de maturação, uma arborização bem manejada pode atenuar estes problemas e propiciar a colheita de grãos mais bem formados, de peneiras maiores e com melhor qualidade de bebida (CARAMORI et al., 2004).

## 2.4 Fotoperíodo

A influência da luz, ou seja, do comprimento do dia, é marcante na diferenciação dos botões florais do cafeeiro. Trabalhos experimentais têm demonstrado que o cafeeiro arábica é uma planta de dias curtos, com fotoperíodo crítico situado entre 13 e 14 horas, ou seja, não havendo diferenciação floral em dias com mais de 13 ou 14 horas de luz (FAHL, 2003; RENA; MAESTRI, 1985; FRANCO, 1940).

Barros et al. (1978), citados por Camargo (1985b), admitiram que outros fatores do ambiente, por exemplo, temperaturas extremas, podem inibir a iniciação floral. Fahl (2003) menciona que, sob fotoperíodo indutivo, o número de flores por axila foliar depende da temperatura ambiente, sendo menor em temperaturas mais elevadas. Quando, porém, o cafeeiro arábica é cultivado em áreas climaticamente aptas, que apresentam condições térmicas e hídricas favoráveis (Camargo, 1977), pode-se admitir o fotoperíodo como fator condicionante da época de florescimento.

Como o cafeeiro é originário de regiões de sub-bosque, adapta-se às condições de sombra. Nos viveiros, apresenta a maior taxa fotossintética, desenvolvendo-se, assim, à meia-luz. Quando adulto, cresce e produz, a pleno sol, com maiores taxas que à sombra, certamente porque as folhas internas, em maior número, acham-se protegidas, ou seja, as externas dão o auto-sombreamento necessário e o devido equilíbrio de luminosidade.

## 2.5 Ventos

Os efeitos do vento em cafeeiros, segundo Camargo (1985a) e Camargo e Pereira (1994), podem ser diretos, simplesmente mecânicos, quando acarretam danos às folhas e às gemas, além de potencializar a queda de flores e frutos em desenvolvimento, ou indiretos, como os ecofisiológicos, provocando aumento da demanda hídrica ou facilitando a penetração de microorganismos, como é o caso da mancha-aureolada (*Pseudomonas garcae*), da requeima (*Phoma* spp) (INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1979, citado por CARAMORI et al., 1986) e da seca dos ponteiros (CARVALHO; CHALFOUN, 2000). Ventos frios, quando fortes e persistentes, podem intensificar o fenômeno conhecido como geada de advecção.

De acordo com Caramori et al. (1986), o cafeeiro é uma planta de baixa tolerância aos ventos. Damatta (2004) salienta-se que o café conilon, a exemplo do arábica, é particularmente sensível à ação dos ventos, havendo necessidade de proteger as plantações com quebra-ventos (FAZUOLI et al, 2007b).

No Espírito Santo, os ventos nordeste e sudeste, que normalmente ocorrem no final do período da seca (agosto), têm proporcionado prejuízo intenso à cafeicultura. Neste período, as lavouras não irrigadas, debilitadas pela colheita e poda e pelo longo período de déficit hídrico (abril a agosto), sofrem expressivo desfolhamento, tornando-se menos produtivas e menos longevas (DAMATTA et al., 2007). Estes fatores, somados às freqüentes oscilações no preço do café e à pressão da sociedade por uma cafeicultura mais sustentável, têm redirecionado a visão do cafeicultor quanto à condução de sua lavoura, principalmente para os aspectos relacionados à utilização de espécies perenes que possam ser consorciadas com o café, visando ao aumento da rentabilidade, por área cultivada, e à minimização dos efeitos adversos do clima (particularmente seca, altas temperaturas e ventos) sobre a lavoura (DAMATTA et al., 2007). Nesse contexto, na região de plantio de café conilon, no norte do Espírito Santo, o cultivo consorciado tem se tornado uma prática cada vez mais comum.

Estudos realizados por Caramori et al. (1986) mostraram danos mecânicos severos sobre mudas de café arábica, cvs. Mundo Novo e Catuaí, submetidas a  $3 \text{ m s}^{-1}$ , sendo que, a partir de  $2 \text{ m s}^{-1}$ , também houve menores incrementos de altura, do comprimento de internódios, do número e do comprimento de ramos plagiotrópicos, do peso de matéria seca e de área foliar. Além disso, houve acentuada redução da taxa de assimilação líquida e da taxa de crescimento relativo. Ventos excessivos aumentam a transpiração, podendo agravar problemas de deficiência hídrica em épocas secas ou de grande demanda do cafeeiro.

A ausência de quebra-ventos é, muitas vezes, fator limitante à exploração econômica de cafezais em áreas sujeitas aos ventos fortes. Logo, no cafezal, tanto a introdução de árvores distribuídas quanto em renques, contribui para reduzir os ventos extremos, criando um microclima mais favorável ao cafeeiro. Quando se faz a opção por renques, alguns cuidados são necessários. O primeiro passo é identificar a direção dominante dos ventos. Existem duas situações práticas, isto é, os ventos frios de inverno, que normalmente têm direção dominante de sudoeste e sul e, o vento dominante ao longo do ano, que tem direção variável de acordo com a região e as configurações do relevo. Os renques devem ser instalados, de preferência, em direção perpendicular aos ventos que prejudicam a lavoura. A ação efetiva dos renques diminui, progressivamente, com a distância entre os renques, sendo reportada em distâncias de até 10 vezes a altura (LEAL, 1986), mas, em regiões frias, deve-se manejar a parte inferior das árvores, abrindo canais para permitir a drenagem do ar frio, evitando-se, assim, danos à lavoura.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo

As chuvas de granizo são fenômenos meteorológicos adversos ocasionais, atingindo pequenas áreas. Entretanto, os danos provocados pelo granizo podem ser muito grandes para a cafeicultura, prejudicando tanto as plantas novas (mudas) de café quanto as plantas adultas, principalmente se estiverem nas fases de floração ou frutificação.

O efeito do granizo sobre as plantas de café ocorre, normalmente, pelo seu impacto, seja por danos mecânicos, cujos prejuízos são dependentes do tamanho do granizo, seja pelo número e pela duração do fenômeno (MATIELLO et al., 2005).

As folhas atingidas são perfuradas e rasgadas, muitas caindo ao solo. Os ramos laterais e o tronco sofrem ferimentos, os frutos são derrubados ou danificados. Quando o granizo é associado a ventos, um lado da planta é mais atingido, sendo as plantas jovens mais prejudicadas, principalmente aquelas submetidas a alguns tipos de podas, como a recepa e o esqueletamento, pois se encontram menos protegidas. Matiello et al. (2002) definem a recepa como um tipo de poda baixa, drástica, que promove a renovação quase total da copa dos cafeeiros. Já o esqueletamento, é um tipo de poda aplicada sobre

os ramos laterais do cafeeiro, os quais são cortados mais próximos ao tronco, mantendo pequenas porções destes ramos (cerca de 20 cm), deixando, pois, apenas o “esqueleto” da planta.

Nos ferimentos causados pelo granizo, podem penetrar fungos e bactérias, como *Phoma*, *Ascochyta*, *Colletotrichum* e *Pseudomonas*, microorganismos infectantes prejudiciais, responsáveis pela seca de ponteiros e pela morte dos ramos plagiotrópicos, os quais dificultam a recuperação das plantas.

Matiello et al. (2005) descrevem novos prejuízos que foram observados, recentemente, destacando-se: a) continuidade de queda de folhas por 10-15 dias pós-granizo, devido à produção de etileno pela progressiva necrose das folhas lesionadas; b) necrose interna de frutos ainda não granados, alguns amarelado e caindo posteriormente, e, outros, apresentando manchas escuras, semelhantes ao ataque de cercosporiose, que aceleram a maturação. Estes frutos, ao serem cortados, exibem parte da semente danificada.

Para as lavouras atingidas por granizo indica-se, imediatamente, uma pulverização com fungicidas ou bactericidas, especialmente nas regiões mais frias, para reduzir infecções oportunistas. Normalmente, as podas são necessárias apenas em casos graves. Muitas vezes, é preciso realizar desbrotas.

Segundo o Conselho Nacional do Café, em 2008, algumas chuvas de granizo ocorreram em várias localidades em Minas Gerais, principalmente no Sul e Centro-Oeste do Estado, ocasionando sérios prejuízos na safra atual e, principalmente, naquela que será colhida em 2009. Nas regiões mais atingidas, os cafezais foram podados (COMPANHIA..., 2009).

### 3.2 Seca fora de época e veranico

Para o balanço hídrico sequencial de Thornthwaite e Mather (1955), para a capacidade de armazenamento de água disponível no solo de 100 mm, são considerados, normalmente, os seguintes níveis de deficiência hídrica decendial: 1) seca leve, menor que 10 mm; 2) seca moderada, de 11-20 mm; 3) seca forte, maior que 20 mm. Obviamente, os níveis de danos à cafeicultura dependerão do estágio fenológico da cultura. (CAMARGO, M. B. P. de, comunicação pessoal).

Quando o déficit é acentuado, as plantas apresentam murchamento, desfolha, seca de ramos, aparecimento de deficiências nutricionais e pragas e doenças induzidas ou favorecidas (MATIELLO et al, 2002). Segundo estes autores, os prejuízos, no cafeeiro, causados por falta de água, são de quatro categorias principais: (a) perdas no desenvolvimento da planta e na produção de frutos; (b) no tamanho dos frutos (peneira média); (c) no tipo do café; e (d) no rendimento côco-beneficiado, sendo os dois últimos por falha na granação (presença de chochos e mal granados), com perdas sentidas tanto no ano (ciclo produtivo) quanto no seguinte.

De maneira geral, algumas cultivares de café conilon têm se revelado mais tolerantes que a *C. arábica*, a curtos períodos de estiagem. Outras, porém, são mais exigentes em água e, portanto, necessitam ser irrigadas.

Em 1985, a cultura cafeeira do Estado de São Paulo sofreu um dos maiores impactos de quebra de produção por deficiência hídrica, conforme descrito por Camargo et al. (1986). Segundo estes autores, de modo geral, a baixa disponibilidade hídrica no período de abril a setembro afetou o início do florescimento. Além disso, a presença de chuvas ocasionais no período induziu os cafeeiros a várias floradas, insuficientes para o pegamento dos “chumbinhos”. Posteriormente, foi observada uma intensa atrofia e disfunções fisiológicas, que resultaram em frutos com lojas desprovidas de sementes, assim como crescimento deficiente de ramos para a safra 1986-1987. Nas áreas com maior intensidade de seca (300 a 500 mm), situadas ao norte e a noroeste do Estado, houve intenso desfolhamento das plantas e queda de frutos de forma acentuada, na quase totalidade das lavouras até o mês de novembro, com prejuízos atingindo a ordem de 60 a 80%, em função da situação climática e ao estado precário de manutenção da maioria dos cafezais paulistas.

De acordo com Miguel et al. (1976), citados por Garcia et al. (2006), o período mais crítico para a redução do rendimento dos frutos vai da 12ª a 16ª semana. Estes autores verificaram que um déficit hídrico, em janeiro, provocou quedas significativas no rendimento do café, sendo necessários até 52% a mais de café cereja para produzir a mesma quantidade de café beneficiado em outra lavoura não sujeita à restrição hídrica.

### 3.3 Vento intenso

A ocorrência de vendavais em lavouras cafeeiras é um evento esporádico, localizado e atinge pequenas áreas. Entretanto, seus danos podem ser muito grandes para a cafeicultura, prejudicando tanto as plantas novas (mudas) de café quanto às plantas adultas, principalmente se estiverem nas fases de floração ou frutificação.

### 3.4 Geadas

Temperaturas do ar, muito baixas, podem ser extremamente prejudiciais aos cafeeiros. Temperaturas absolutas do ar, iguais ou inferiores a 2°C, possibilitam a ocorrência de geada radiativa que, para o café, significa a morte dos tecidos vegetais, quando a temperatura do limbo foliar for igual ou inferior a -3,5°C (FERRAZ, 1968).

O cafeeiro da espécie arábica é uma planta pouco tolerante ao frio. A ocorrência de frio, mais ou menos intenso, e a ameaça contínua de geadas constituem um dos problemas mais importantes para a cafeicultura brasileira, limitando o cultivo em amplas áreas. As temperaturas muito baixas e as geadas provocam danos parciais ou totais à planta, exigindo um período prolongado para a recuperação.

Quando a temperatura no tecido foliar atinge -3°C a -4°C, ocorre a morte celular (CAMARGO; SALATI, 1967; FERRAZ, 1968). Manetti Filho e Caramori (1986) observaram que os danos foliares podem ocorrer com temperaturas a partir de -2°C. Próximo ao solo, as temperaturas inferiores a -2°C já podem provocar a morte dos tecidos (Franco, 1960), ocasionando o dano conhecido como “geada de canela”.

A geada típica de radiação, ou geada branca, provoca o dano mais intenso das partes expostas à perda de calor. Dependendo da intensidade, ocorre o dano conhecido como “geada de capote”, em que a parte superior da copa exposta à perda direta de calor atinge o limiar de dano, mas exerce auto-proteção às partes inferiores da planta. Este tipo de geada normalmente requer a poda dos ramos atingidos, após o inverno.

Durante o deslocamento de massas polares, pode ocorrer ventos frios que causam a “geada de vento” ou “geada negra”, principalmente na face exposta aos ventos. Em plantas jovens, cujas copas ainda não exercem proteção aos troncos, pode ocorrer o dano conhecido como “geada de canela”, causado pelo anelamento dos tecidos a uma altura de 10 a 30 cm. Neste caso, pode ocorrer a perda da planta, ou, caso a planta brote abaixo da área lesionada, será necessário fazer a recepa, após o inverno. Quando os frutos estão ainda verdes, a geada pode causar a queima dos mesmos, ocasionando perda de peso e um defeito conhecido como “café geado”, que deprecia a qualidade da bebida e o preço do produto.

As geadas precoces são, ainda, mais prejudiciais, situação em que os cultivares de maturação tardia sofrem mais com os danos.

Para conviver com o fenômeno das geadas, nas áreas produtoras do sul e sudeste do Brasil, existem diversas técnicas que podem ser recomendadas. Os cuidados iniciam na escolha do local para plantio. Do ponto de vista macroclimático, devem ser escolhidas as áreas em que o risco anual de ocorrência de geadas severas é inferior a 20%. Dentro da propriedade, devem ser escolhidas as áreas com declividade superior a 5%, localizadas, da meia encosta até o topo do espigão, evitando assim, os locais de acúmulo de ar frio, no fundo de vales. Deve-se dar preferência às áreas voltadas para a face norte, que recebem mais calor durante o inverno e são menos sujeitas às geadas frequentes.

Em plantios com até 6 meses, é possível dobrar as mudas e cobri-las com uma camada de terra de 15 a 20 cm de espessura, na véspera da geada (MORAIS et al., 2002). Os produtores devem acompanhar as previsões e estar preparados para executar a operação de enterrio, que é realizada com enxadas. O desenterrio deve ser feito após o risco de geada. Quando não é mais possível dobrar as plantas, é recomendado fazer o chegamto de terra até a inserção dos primeiros ramos plagiotrópicos, com 6 meses a 2 anos após o plantio, para evitar os danos da geada de canela (CARAMORI; CHAVES, 1984). A operação pode ser efetuada no início maio e a terra deve ser retirada no final de agosto - início de setembro, quando desaparecem os riscos de geadas.

Na implantação da lavoura, há algumas alternativas que podem ser utilizadas. O uso do túnel de

guandu, para facilitar o pegamento das mudas e protegê-las contra geadas no primeiro ano, é uma prática recomendada para o norte do Paraná. É recomendado o guandu comum ou gigante, que deve ser semeado em outubro, antes do plantio do cafezal, mantendo-se 3 a 4 plantas por metro linear. O guandu é conduzido com podas laterais para formar um túnel com 2 a 3 metros de altura, por volta de fevereiro a março do ano seguinte, quando se faz o plantio do café. Passado o inverno, o guandu é eliminado gradativamente, fornecendo proteção ao solo e nutrientes para o cafezal.

O plantio de árvores consorciadas com o cafezal também é uma prática efetiva. No norte do Paraná, em áreas de solos argilosos, pode-se utilizar a bracatinga (*Mimosa scabrella*) na população de até 150 árvores/ha., fazendo-se a poda regular dos ramos inferiores acima da copa dos cafeeiros (CARAMORI et al., 1996). A bracatinga apresenta crescimento muito rápido, atingindo 4 m de altura já no primeiro ano. A partir do quarto ano, pode-se iniciar o manejo com a retirada de árvores para produção de lenha, substituindo-as por novos plantios. A *Grevillea robusta* pode ser plantada na densidade de até 70 árvores por hectare, distribuídas no interior do cafezal (BAGGIO et al., 1997). A partir do terceiro ano, as árvores protegem os cafeeiros contra geadas. O plantio de seringueira em filas duplas, com espaçamento de 4 a 5 m entre as linhas da fila dupla e, de 13 a 15 m, entre filas duplas, além da auxiliar na proteção contra geadas, também propicia renda extra ao produtor, a partir do sexto ano de plantio da espécie protetora.

### 3.5 Chuva excessiva ou excesso hídrico prolongado

O cafeeiro não tolera solos sujeitos a encharcamentos. Caso ocorram 3 a 4 meses de chuvas intensas, o solo, encontrando-se muito encharcado e com pouca aeração, favorecerá a falta de oxigenação no sistema radicular, levando à clorose generalizada. A persistência do encharcamento poderá ocasionar o apodrecimento das raízes, levando a planta à morte (Camargo, M. B. P. de; Bartholo, G. F., comunicação pessoal).

Durante o período de recuperação do crescimento das gemas florais, após quebra da dormência que, no Brasil, normalmente se estende de agosto a outubro, a ocorrência de chuvas pesadas e contínuas pode resultar em anomalias florais de vários tipos (RENA; MAESTRI, 2000). Pouca luz e chuvas intermitentes de baixa intensidade podem induzir à formação de várias floradas sucessivas.

### 3.6 Chuva na colheita

Dentre os fatores mais importantes que influenciam a qualidade do café, destacam-se as características da espécie, a cultivar, as condições ambientais durante o desenvolvimento da cultura, a época e os procedimentos de colheita, os métodos de preparo, de secagem e de armazenamento.

A ocorrência de um período seco, sem chuvas e com predominância de sol, é o maior aliado para o processo de secagem natural e uniforme dos grãos, visando à obtenção de um café de boa qualidade. Exemplo típico ocorre nas regiões de cultivo do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, onde a boa qualidade do café é atribuída à coincidência do período de maturação e pós-colheita do café com condições de ausência de chuvas.

Por outro lado, a ocorrência de chuvas, no período compreendido entre a etapa de colheita e o pré-processamento do café, é prejudicial, pois interrompe o cronograma de colheita e o processo de secagem natural dos grãos em terreiros. Esta adversidade, associada às condições de solo úmido e conseqüente dificuldade de recolhimento dos grãos, pode afetar, também, os atributos de qualidade da bebida. Tais condições climáticas atípicas foram verificadas nos meses de maio, junho e julho de 2004, nas regiões cafeeiras de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, como relatado por Meireles et al. (2007).

O excesso de chuvas em determinadas épocas do ano é um dos principais agentes causadores da proliferação de doenças nos cafeeiros. Como exemplo, cita-se a ocorrência de períodos chuvosos e baixas temperaturas observadas em maio de 2004, nas regiões cafeeiras dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, que ocasionaram sérios problemas fitossanitários nas lavouras, tais como o surto do fungo *Colletotrichum*. Nas áreas produtoras de cafés finos, especialmente na Mogiana de São Paulo e no Sul de Minas Gerais, o surto deste fungo prejudicou a qualidade do produto e da bebida do café (MEIRELES et al., 2007).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento agrometeorológico da cultura do café é uma importante ferramenta que auxilia na tomada de decisões do agricultor, como a determinação de melhores épocas de podas, colheitas, necessidades de irrigação, além da proteção contra adversidades meteorológicas. Se o monitoramento estiver acoplado a um sistema de controle fitossanitário, os produtores podem ser alertados dos riscos de doenças, como ferrugem, *phoma*, cercosporiose e pragas como o bicho-mineiro e a broca, geralmente dependentes das condições do tempo. Assim, os produtores podem otimizar a aplicação de defensivos agrícolas, aumentando o lucro e preservando o ambiente. No Brasil, podem ser citados alguns sistemas de monitoramento agrometeorológico para a cafeicultura, como o Monitoramento Agroclimático do Paraná, Monitoramento Agroclimático do Café no Estado de São Paulo e o Monitoramento Agroclimático da Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé, Minas Gerais (CAMARGO et al., 2007).

Nos últimos anos, modelos agrometeorológicos relacionando as condições ambientes com fenologia, bienalidade e produtividade do cafeeiro estão sendo desenvolvidos para regiões cafeeiras do Brasil (Camargo et al., 2003; Carvalho et al., 2003; Santos, 2005, Camargo et al., 2005), podendo ser importantes para subsidiar os programas de previsão de safras de café. Estes modelos consideram que cada fator climático exerce um controle na produtividade da cultura, por influenciar determinados períodos fenológicos críticos, como a indução floral, a floração, a formação e a maturação dos frutos dos cafeeiros.

Outra preocupação atual são as mudanças climáticas previstas no penúltimo relatório do IPCC (International Panel of Climatic Change, 2001). As expectativas dos pesquisadores são de aumentos da temperatura, variando de 1,8 a 4,0°C, nas próximas décadas (IPCC, 2007). Em resposta a estas alterações, a agricultura poderia sofrer influências negativas ou positivas na produtividade. Para as culturas de maior risco de perdas, a obtenção de cultivares adaptadas deve ser iniciada o quanto antes.

Diante dessas perspectivas, novas estratégias no controle biológico natural e nas opções de controle químico deverão ser estudadas e, para tanto, a pesquisa deve estar preparada para enfrentar o novo problema que, certamente, irá alterar o manejo de doenças de plantas (TOMAZ et al., 2008).

Apesar da importância econômica da cultura do cafeeiro, existem grandes lacunas de conhecimento que precisam ser preenchidas, principalmente em relação às variáveis agrometeorológicas e ecofisiológicas, principalmente, no que diz respeito ao café conilon.

Face às mudanças climáticas preconizadas, o cafeeiro poderá sofrer influências negativas na produtividade. Contudo, o desenvolvimento de novas cultivares, para condições de temperaturas mais elevadas, e o aperfeiçoamento das práticas agrônômicas poderão atenuar os cenários resultantes do aquecimento, viabilizando a cultura do café. Dentre as práticas agrônômicas, a serem melhoradas, destacam-se a irrigação, a arborização, o adensamento e o manejo do mato.

A presente revisão bibliográfica cobriu os principais estudos sobre a influência do clima na cultura do café, no Brasil, demonstrando fatos já esclarecidos e outros ainda a serem confirmados. Por isso, não houve a intenção de esgotar os assuntos abordados, principalmente com relação ao café conilon, e sim, contribuir para o melhor entendimento da cafeicultura brasileira.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÈGRE, C. Climates et caféiers d'Arabie. **Agronomie Tropicale**, Paris, v. 14, p. 23-58, 1959.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and drainage paper, n. 56).

ALVES, J. D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.) **Cultivares de café: origem, características e recomendação**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2008. p. 35-57.

ARRUDA, F. B. et al. Estudo da influência do clima e da disponibilidade hídrica na produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em Pindorama, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca, SP. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1999. p. 294-197.

ARRUDA, F. B. et al. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama/SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2000. p. 790-793.



BAGGIO, A. J. et al. Productivity of Southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea Robusta*. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 37, p.111-120, 1997.

BARROS, I. **Produção das variedades Caturra e Mundo Novo de café em função do espaçamento, número de plantas por cova e condução das plantas**. Piracicaba, 1997. 82 f. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BRAGANÇA, S. M. et al. **EMCAPA 8111, EMCAPA 8121, EMCAPA 8131**: primeiras variedades clonais de café conilon lançadas para o Estado do Espírito Santo. Vitória: EMCAPA, 1993. 2 p. (EMCAPA. Comunicado técnico, 68).

BRAGANÇA, S. M. et al. Variedades clonais de café *Conilon* para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 5, p. 765-770, maio 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agronegócio café**. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 17 nov. 2008.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 7, p. 831-839, jul. 1985b.

CAMARGO, A. P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, 1985a.

CAMARGO, A. P. Zoneamento da aptidão climática para a cafeicultura de arábica e de robusta no Brasil. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recursos naturais, meio ambiente e poluição**: contribuição de um ciclo de debates. Rio de Janeiro: SUPREN, 1977. v. 1, p. 68-76.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P.; PALLONE FILHO, W. J. **Modelo climático-fenológico para determinação das necessidades de irrigação de café arábica na região Norte de São Paulo e no Triângulo Mineiro**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 26 p. (Série tecnológica APTA); (Boletim técnico IAC, 190).

CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva, 1994. 43 p. (WMO. TD, n. 615).

CAMARGO, A. P.; SALATI, E. Determinación de la temperatura letal para hojas de café en noches de heladas. **Café**, Lima, v. 8, n. 3, p. 12-15, 1967.

CAMARGO, M. B. P. et al. A seca de 1985 no Estado de São Paulo. **O Agrônomo**, Campinas, v. 38, n. 1, p. 31-44, 1986.

CAMARGO, M. B. P. et al. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à previsão de safra de café (*Coffea arabica* L.): resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 75-76.

CAMARGO, M. B. P. et al. Teste de modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de produtividade do cafeeiro no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2005. p. 25-29.

CAMARGO, M. B. P. Influência do clima na produtividade de grãos e na qualidade da bebida do café. In: SALVA, T. de J. G. et al. (Ed.). **Cafés de qualidade**: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais. Campinas: IAC, 2007. p. 1-26.

CAMARGO, M. B. P.; ROLIM, G. de S.; SANTOS, M. A. Modelagem agroclimatológica do café: estimativa e mapeamento das produtividades. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 58-65, 2007.

CARAMORI, P. H., CHAVES, J. C. D. Proteção de cafeeiros jovens contra os efeitos da geada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 665-668, 1984.

CARAMORI, P. H. et al. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S. N. (Ed.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Edições UESB, 2004. p. 21-42.

CARAMORI, P. H. et al. Efeitos do vento sobre mudas de cafeeiro Mundo Novo e Catuaí Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 11, p. 1113-1118, nov. 1986.

CARAMORI, P. H.; ANDROCIO FILHO, A.; LEAL, A. C. Coffee shade with *Mimosa Scabrella* Benth for frost protection in Southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 33, p. 205-214, 1996.

CARVALHO, H. Sistemática do gênero *Coffea* e descrição das variedades econômicas de *Coffea arabica* L. In: CURSO DE CAFEICULTURA, 1., 1957, Campinas. [Aula...]. Campinas: Instituto Agronômico, 1957. p. 17-36.

CARVALHO, L. G. et al. Avaliação de um modelo agrometeorológico para previsão de produtividade de café em três localidades da região sul do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 343-352, 2003.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro**: diagnose e controle. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 44 p. (EPAMIG. Boletim técnico, 58).

COELHO, M. R. **Coeficiente de cultura (Kc) e desenvolvimento inicial de duas variedades de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) associados a graus-dia**. 2004. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Lavras.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café**: safra 2009, primeira estimativa: janeiro/2009. Brasília, DF: CONAB, 2009. 17 p.

DAMATTA, F. M. Ecophysiological constrains on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004.

DAMATTA, F. M. et al. Eficiência do uso da água e tolerância à seca em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2000. p. 907-910.

DAMATTA, F. M. et al. O café conilon em sistemas agroflorestais. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.) **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 377-389.

DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M. Photoinhibition and recovery of photosynthesis in *Coffea arabica* and *C. canephora*. **Photosynthetica**, Prague, v. 34, p. 439-446, 1997.

DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. **Photosynthetica**, Prague, v. 34, p. 257-264, 1997.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Pelotas, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, I. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 93-135.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B.; CARVALHO, C. H. S. de. Aspectos fisiológicos do crescimento e da produção do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Brasília, DF: Embrapa Café, 2008. p. 59-68.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage paper 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 144 p. (FAO boletim irrigacion Y drenage, n. 24).

FAHL, J. **Aspectos fisiológicos da floração do cafeeiro**. Disponível em: <http://www.cafenarede.com.br/FEPesquisa3.htm>. Acesso em: 6 nov. 2003.

- FAHL, J. I. et al. Avaliação de índices fisiológicos de produção para utilização em modelos de previsão de safra de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. v. 1, p. 60.
- FAHL, J. I. et al. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, London, v. 69, p. 161-169, 1994.
- FAZUOLI, L. C. et al. Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agronômico de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: UFV. Departamento de Fitopatologia, 2002. p. 163-215.
- FAZUOLI, L. C. et al. Café robusta: uma nova opção para a cafeicultura paulista. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, 2007b, p.71-74.
- FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 87-113.
- FAZUOLI, L. C.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Aquecimento global, mudanças climáticas e a cafeicultura paulista. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, 2007a. p. 19-20.
- FERRAZ, E. C. Estudo sobre o momento em que a geada danifica as folhas do cafeeiro. 1968. 59 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo de cafeeiros em fase de formação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 1-27, 2009. No prelo.
- FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. Evapotranspiration and crop coefficients of coffee trees during crop production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Proceedings...** Jaboticabal: SBEA, 2008. p. 1-4. CD ROM.
- FRANCO, C. M. Estrangulamento do caule do cafeeiro causado pelo frio. **Bragantia**, Campinas, v. 19, p. 515-521, 1960.
- FRANCO, C. M. Fotoperíodo em cafeeiro (*C. arabica*). **Revista Instituto do Café**, São Paulo, v. 15, n. 164, p. 1586-1592, 1940.
- GARCIA, A. W. et al. Levantamento de perdas da safra cafeeira no Sul e Oeste de Minas Gerais após o veranico de janeiro de 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas, MG. **Trabalhos apresentados**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2006. p. 58-59.
- GOUVEIA, N. M. **Estudo da diferenciação e crescimento de gemas florais de Coffea arabica L.**: observações sobre antese e maturação dos frutos. 1984. 237 f. Dissertação (Mestrado em Biologia)-Universidade Estadual de Campinas, 1984.
- HUERTA, S.; ALVIM, P. de T. Índice de área foliar y su influencia en la capacidad fotosintética del café. **Cenicafé**, Caldas, v. 13, n. 2, p. 75-84, abr./jun. 1962.
- IAFFE, A. et al. Probabilidade de ocorrência de temperaturas do ar superiores a 34°C associadas com deficiência hídrica no florescimento de *Coffea arabica* L. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2005. 4 p. CD-ROM.
- IAFFE, A. et al. Estimativa de temperatura-base e graus-dia com correção pelo fotoperíodo do florescimento à colheita de café em Campinas, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2001b. p. 575-581. CD-ROM.
- IAFFE, A. et al. O. Quantificação do efeito dos elementos agrometeorológicos na produção de um ensaio de café em Ribeirão Preto, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. v.1, p. 794-797.
- IAFFE, A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Estimativa da temperatura base e graus-dia do florescimento a colheita de cafeeiro Mundo Novo em Botucatu, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: SBA, 2001a. p. 703-704.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for policymakers. In: **Climate change 2007: The physical science basis**. Paris: IPCC/WMO, 2007. 18 p. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2001: Working Group II: Impacts, adaptations and vulnerability**. Disponível em: <[http://www.grida.no/climate/IPCC\\_tar/wg2/005.html](http://www.grida.no/climate/IPCC_tar/wg2/005.html)>. Acesso em: 2 fev 2009.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L.: effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, p. 13-19, 1980.
- LEAL, A. C. **Quebra-ventos arbóreos: aspectos fundamentais de uma técnica altamente promissora**. Londrina: IAPAR, 1986.
- LIMA, E. P. **Graus-dia, temperatura base e coeficiente de cultura para cafeeiros arábica em fase de implantação**. 2006. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, MG.
- MANETTI FILHO, J.; CARAMORI, P. H. Desenvolvimento de uma câmara para simulação de temperaturas baixas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 10, p.1005-1008, 1986.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2005. 438 p.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. 387 p.
- MEIRELES, E. J. L. et al. **Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2003-2004**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 79 p. (Embrapa Café. Documentos, 3).
- MORAIS, H. et al. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p.257-260, 2008.
- MORAIS, H. et al. Avaliação de métodos de proteção contra geadas em cafezais recém implantados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 259-264, 2002.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 501-505, 2003.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1781-1786, nov./dez., 2008.
- PICINI, A. G. et al. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.
- PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science**, Amsterdam, v. 167, p. 1307-1314, 2004.
- RENA, A. B. et al. (Ed.). **Handbook of environmental physiology of tropical fruit crops: Sub-Tropical and tropical crops**. Boca Raton: CRC Press, 1994, v. 2, p.101-122.
- RENA, A. B.; BARROS, R. S. Aspectos críticos no estudo da floração do café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 149-172.
- RENA, A. B.; BARROS, R. S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção do café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 101-128.

RENA, A. B.; DAMATTA, F. M. O sistema radicular do cafeeiro: estrutura e ecofisiologia. In: ZAMBOLIM, I. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 11-92.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 48, p. 34-41, 2000.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do café conilon. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 95-119.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento**. Belo Horizonte: O Lutador, 2005. 358 p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbores, 1996. 146 p.

SANTOS, H. G. et al. (Ed.) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

SANTOS, M. A. **Parametrização de coeficientes de sensibilidade e teste de modelos agrometeorológicos de estimativa de quebra de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical)–Instituto Agronômico de Campinas.

SANTOS, M. A.; CAMARGO, M. B. P. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 173-183, 2006.

SILVA, J. G. F. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 347-373.

SONDAHL, M. R.; CROCOMO, O. J.; SODEK, L. Measurements of <sup>14</sup>C incorporation by illuminated intact leaves of coffee plants from gás mixtures containing <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 27, p. 1187-1195, 1976.

THOMAZIELLO, R. A. et al. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 82 p. (Boletim técnico IAC, 187).

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in climatology).

TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. C. Desafios para a sustentabilidade da cafeicultura. In: TOMAZ, M. A. et al. (Ed.). **Seminário Para a Sustentabilidade da Cafeicultura**. Alegre: UFES. Centro de Ciências Agrárias, 2008. p.15-26.

VALENCIA, A. G. **Fisiología, nutrición y fertilización del café**. Chinchina, Colombia: Agroinsumos del Café S.A. Cenicafé, 1999. 94 p.

VILLANOVA, N. A. et al. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81- 88, 2002.

# CITROS

*Foto: Stephanie Berghaeuser*





# Citros

Clovis Alberto Volpe<sup>(1)</sup>  
Edgar Ricardo Schöffel<sup>(2)</sup>  
Rafael Vasconcelos Ribeiro<sup>(3)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Sapindales, família Rutaceae, o gênero *Citrus* engloba grande número de espécies, ao qual pertence a maioria das variedades cultivadas. De forma sucinta e sob o ponto de vista agrônomo, as espécies do gênero *Citrus* podem ser agrupadas conforme Tabela 1.

**Tabela 1. Principais espécies e variedades de plantas cítricas cultivadas.**

Grupos	Espécies	Cultivares	Uso <sup>1</sup>
Laranja doce	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osb.	Pêra, Natal, Valência, Hamlin, Lima, Bahia, Baianinha, Westin, Rubi, Folha Murcha, Shamouti de Brotas e Navelina	C
Laranja azeda	<i>C. aurantium</i> L.	Laranja azeda	PE e C
	<i>C. reticulata</i> Blanco	Ponkan e Cravo	C
	<i>C. clementina</i> hort. ex. Tan.	Nules	C
	<i>C. unshiu</i> Marc.	Satsumas Okitsu e Owari	C
	<i>C. deliciosa</i> Ten.	Mexerica do Rio, Montenegrina e Tardia da Sicília	C
Tangerina	<i>C. sinensis</i> (L.) Osb. x <i>C. reticulata</i> Blanco	Murcott, Murcott J, W Murcott e Ortanique.	C
	Híbridos de <i>C. reticulata</i>	Thomas e Fremont	C
	<i>C. reshni</i> hort. ex. Tan.	Cleópatra	PE
	<i>C. sunki</i> hort. ex. Tan.	Sunki	PE
	<i>C. reticulata</i> Blanco x <i>C. paradisi</i> Macf.	Nova, Page, Orlando e Mienola	PE
Toranja	<i>C. grandis</i> Osb.	Toranja	C
Pomelo	<i>C. paradisi</i> Macf.	Marsh Seedless, Ruby e Redblush	C
	<i>C. limon</i> (L.) Burm. f.	Eureca, Femminello, Lisboa, Siciliano e Genova	C
Limão	<i>C. limonia</i> Osb.	Cravo	PE
	<i>C. volkameriana</i> Ten. & Pasq.	Volkameriano	PE
	<i>C. jambhiri</i> Lush.	Rugoso	PE
	<i>C. latifolia</i> (Yu. Tan.) Tan.	Tahiti	C
Lima ácida	<i>C. aurantifolia</i> (Christm.) Swingle	Galego	C
	<i>C. limettioides</i> Tan.	Lima da Pérsia	PE e C
Trifoliata	<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.	Trifoliata	PE
Citrange	<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf. x <i>C. sinensis</i> (L.) Osb.	Troyer e Carrizo	PE
Citrumelo	<i>C. paradisi</i> Macf. x <i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.	Swingle	PE

1 C = copa; PE = porta-enxerto / Fonte: Pio et al. (2005) e Pompeu Jr. (2005).

1- Eng. Agrônomo, Dr., Professor Adjunto, Departamento de Ciências Exatas, FCAV / UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, SP. E-mail: cavolpe@fcav.unesp.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Professor Adjunto, FAEM / UFPel. E-mail: ricardo\_schoffel@ufpel.edu.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, IAC / Apta

## 1.1 Fenologia

A fenologia dos citros estuda a relação entre o desenvolvimento das plantas e as condições climáticas, considerando escalas de tempo e de espaço, cujo conhecimento pode ser útil para a melhoria das práticas agrícolas, a programação de colheitas, o zoneamento agrícola, a elaboração de modelos de previsão de início e duração de períodos fenológicos e a previsão de produtividade e de qualidade dos frutos de uma safra (STANHILL, 1977; BEN MECHLIA & CARROLL, 1989; VOLPE, 1992; ROLIM et al., 2008).

De modo geral, as principais fases fenológicas dos citros são: indução floral, floração, crescimento, desenvolvimento e maturação dos frutos. Em cada fase, existem alguns estádios, que caracterizam uma etapa do desenvolvimento da cultura. A Figura 1 ilustra os estádios fenológicos do desenvolvimento reprodutivo de tangerinas Murcott, desde o estágio de borbulha dormente até a maturação fisiológica dos frutos. O período de crescimento vegetativo, que ocorre durante o verão, deve ser considerado, também, uma fase fenológica importante, haja vista que a estrutura do dossel que suportará a carga de frutos é formada nessa ocasião.

Os ramos vegetativos de plantas de laranjeiras doces formam folhas maiores, com entrenós maiores e mais numerosos do que os ramos reprodutivos (SCHNEIDER, 1973), que são mais curtos, com folhas menores, e apresentam diferentes tipos de inflorescências. A ocorrência de fluxos de crescimento dos ramos e, subsequente período de paralisação, é função da combinação porta-enxerto-copa, da idade da árvore, do estado nutricional e das condições climáticas. O novo crescimento vegetativo em um ano é influenciado pelo efeito residual do crescimento em estações anteriores (KOLLER, 1994). O crescimento vegetativo vigoroso dos ramos anteriores à floração e, no início de formação do fruto, pode prejudicar a produção de frutos de alta qualidade (DOORENBOS & KASSAM, 1979), uma vez que o crescimento vegetativo competirá com o desenvolvimento reprodutivo por fotoassimilados e pelas reservas de carboidratos.

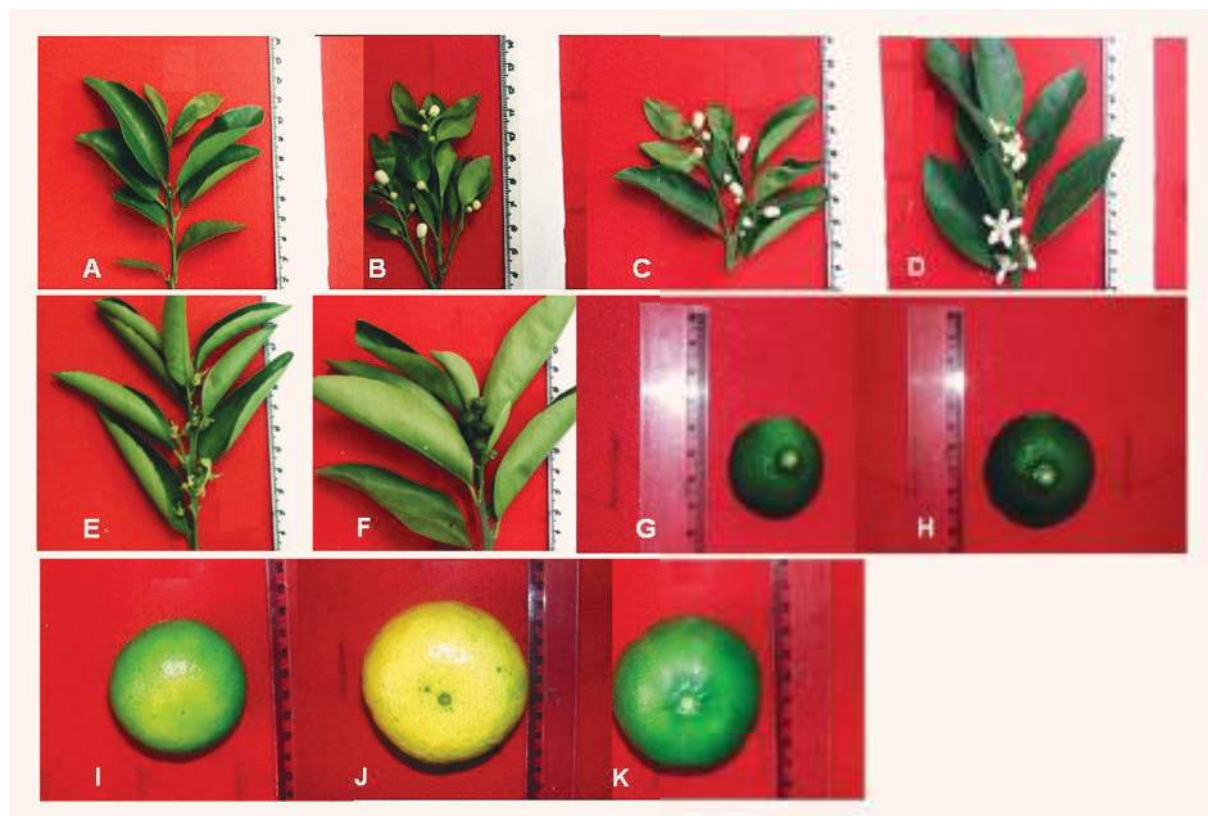


Figura 1. Representação detalhada das fases de floração e frutificação de tangerinas Murcott: a) gema floral dormente; b) botão floral visível; c) flor completa com pétalas fechadas; d) abertura da flor (antese); e) estrutura reprodutiva sem pétalas e com estilete; f) estrutura reprodutiva sem pétalas e sem estilete; g) fruto em fase de crescimento (bola de gude), com diâmetro aproximado de 3 cm; h) fruto em fase de crescimento (bola de pingue-pongue), com diâmetro aproximado de 4,5 cm; i) fruto verde próximo do tamanho final; j) fruto na fase de mudança de cor (verde para amarelo); e k) fruto no ponto de colheita. Adaptado de Barbasso et al. (2005). Fotos: Danilo V. Barbasso.

A fase de indução floral refere-se a um período de transformação de gemas vegetativas em gemas reprodutivas, através de estímulos. A paralisação aparente do crescimento vegetativo, da parte aérea das plantas, seja por frio ou por seca, resulta no acúmulo de reservas, rapidamente consumidas durante a florada e no desenvolvimento das estruturas reprodutivas. Geralmente, essa indução é promovida por déficit hídrico e, ou, baixas temperaturas (SOUTHWICK & DAVENPORT, 1986, BAUTISTA et al., 1991; DAVIES & ALBRIGO, 1994; SPIEGEL-ROY & GOLDSCHMIDT, 1996).

Em condições tropicais úmidas, próximo ao Equador terrestre, a ausência de variabilidades, térmica e hídrica sazonal, confere hábitos contínuos de floração aos citros, enquanto que, em condições tropicais, com períodos secos, o estresse hídrico resulta em repouso vegetativo, com duração dependente da intensidade e da duração da seca, condicionando uma floração concentrada (BEN MECHLIA & CARROLL, 1989). Nas regiões subtropicais, o estresse hídrico é substituído pela sazonalidade térmica, sendo a fase de pré-floração regulada por baixas temperaturas. Nas condições da citricultura do Estado de São Paulo, onde podem ocorrer até três floradas por safra, ocorre, geralmente, deficiência hídrica no período que precede a floração (ORTOLANI et al., 1991). Em geral, os citros cultivados ao Norte do Estado de São Paulo têm a pré-floração condicionada pela deficiência hídrica, ao passo que, em áreas situadas ao Sul, o principal elemento ambiental é a baixa temperatura. Em áreas centrais do Estado de São Paulo, ambos os elementos, seca e frio, regulam a fase de pré-floração (RIBEIRO et al., 2006a), sendo observada maior quantidade de estruturas reprodutivas quando há ocorrência, simultânea, de frio e seca na pré-florada (PRADO et al., 2007).

De acordo com Lomas & Burd (1983), o início da floração dos citros, em climas subtropicais, depende das temperaturas ocorridas no inverno, da mesma forma como existe uma relação direta entre a intensidade do frio e a demora para a antese. Temperaturas baixas, no período de pré-floração, causam uma florada concentrada e mais tardia, quando as condições térmicas são mais adequadas para a polinização e para a fixação do fruto (VOLPE, 1992). Nesse sentido, Ben Mechlia & Carroll (1989) apresentam um modelo de previsão de início da floração baseado nas temperaturas mínimas e médias do ar, para períodos de cinco dias. Segundo este modelo, em condições de alta disponibilidade de radiação solar, a floração ocorre quando as temperaturas mínimas e médias superarem os limites críticos de 2 °C e 11 °C, respectivamente. No entanto, a floração ocorrerá de forma independente da radiação solar disponível quando forem atingidas temperaturas mínimas e médias de 20 °C e 27 °C, respectivamente.

A floração dos citros é abundante, mas a eficiência em transformar esta floração em frutos maduros ainda é baixa. Segundo Monselise (1986), de um grande número de flores produzidas por uma árvore (cerca 10.000 a 250.000 flores, dependendo da cultivar, local e estação do ano), apenas algumas centenas resultam em frutos maduros, o que se situa entre 0,1 e 3,5% do total de flores produzidas. Em estudos realizados na região citrícola de Limeira - SP, laranjeiras 'Valência' apresentam fixação de frutos superior ao relatado por Monselise (1986), sendo influenciada pela combinação copa-porta-enxerto (RIBEIRO et al., 2008). Muitos ovários crescem notavelmente durante as primeiras semanas e desenvolvem uma coloração verde-escura, enquanto outros amarelecem e caem. Muitos frutos remanescentes continuam a cair por 2 ou 3 meses até que uma grande queda ocorra no início do verão. Este período de queda é chamado "June drop", porque, freqüentemente, ocorre no mês de junho, nas regiões subtropicais do hemisfério Norte. No Estado de São Paulo, este período de abscisão geralmente ocorre entre outubro e dezembro (VOLPE, 1992), quando há intenso consumo de carboidratos foliares (RIBEIRO, 2006; PRADO et al., 2007; SEKITA, 2008). Após tal período, os frutos fixados permanecem aderidos à planta até a colheita, podendo haver abscisão devido à ocorrência de pragas e patógenos ou por ação mecânica.

A fixação do fruto é dependente da produção do ano anterior e das condições climáticas, tanto na pré-floração (temperatura e disponibilidade de água) quanto durante a floração (temperatura, chuva e vento). Déficit hídrico e temperaturas elevadas, durante a expansão celular do fruto, contribuem para aumentar a abscisão de frutos. Além disso, estresse por déficit hídrico reduz a taxa de crescimento dos frutos e, mesmo aqueles que atingem a maturidade, apresentam pequena quantidade e qualidade de suco (REUTHER, 1973; DOORENBOS & KASSAM, 1979, MONSELISE, 1986). Ben Mechlia & Carroll



(1989) relatam que altas temperaturas, superiores a 35 °C, podem causar redução na produtividade, enquanto temperaturas próximas a 20 °C são consideradas ótimas para a fixação de frutos em laranjeiras 'Navel'. Isto é confirmado pela avaliação dos dados de abscisão de frutos de cultivares de laranja-doce, em três localidades do Estado de São Paulo, sendo demonstrado por Volpe (1992) que, no período crítico de abscisão de frutos, ocorreram altas temperaturas e a evapotranspiração potencial foi superior à chuva. A fixação dos frutos é maior em brotações com presença de folhas, eventualmente ocorrendo devido ao fornecimento de fotoassimilados para a estrutura reprodutiva, ou pela melhor conexão vascular ocasionada pela presença de folhas, ou ainda, pela maior capacidade de dreno das brotações mistas (DAVIES & ALBRIGO, 1994). A antese ocorre mais tarde nas inflorescências com folhas e, durante o período de abscisão, a porcentagem de frutos que persiste, sobre as inflorescências com folhas, continua aumentando (LOVATT et al., 1984, MONSELISE, 1986).

De modo geral, conforme ilustra a Figura 2, a produção de frutos leva de 7 a 14 meses, da floração até a maturação, dependendo de o cultivar ser precoce (ex.: Hamlin), de meia-estação (ex.: Pêra) ou tardio (ex.: Natal e Valência), correspondendo, a temporada de colheita de frutos, de abril a dezembro, no Hemisfério Sul. Os frutos das variedades citadas são os mais utilizados na fabricação do Suco de Laranja Concentrado e Congelado (SLCC). O limoeiro tem período de floração mais prolongado e seus frutos são colhidos ao longo de todo o ano.

Os fatores fundamentais que afetam a maturação dos frutos são: combinação copa-porta-enxerto, idade da árvore, estresses hídrico e térmico, localização do fruto na copa da árvore, radiação solar, manejo da cultura e, principalmente, a irrigação e a nutrição (REUTHER, 1973; DAVIES & ZALMAN, 2004).

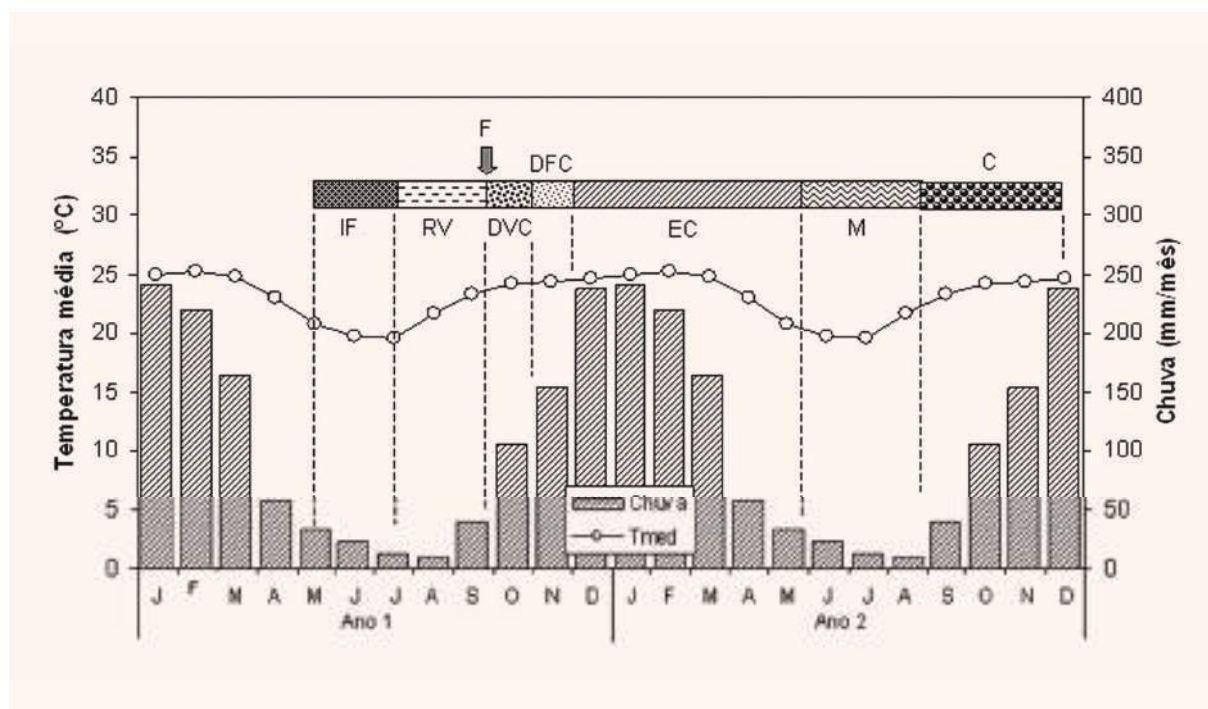


Figura 2. Condições climáticas durante um ciclo de produção de citros. (IF: indução floral; RV: paralisação do crescimento vegetativo aparente; F: floração; DVC: divisão celular; DFC: diferenciação celular; EC: expansão celular; M: maturação; C: colheita). Adaptado de Sentelhas (2008).

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

Paulino & Volpe (2001b) constataram que o clima explica, para as laranjeiras Pêra, cerca de 92% da variação da produção, de ano para ano, expressa como quantidade de frutos por árvore, na região de Limeira - SP.

## 2.1 Disponibilidade Hídrica

De modo geral, as necessidades hídricas anuais dos citros atingem valores entre 600 e 1300 mm, devido às variações existentes na distribuição espacial e temporal da radiação solar, da temperatura do ar, do vento, da umidade do ar, das combinações copa-porta-enxerto, das características hídricas do solo, dos aspectos da cultura, como sanidade, porte, idade e outros fatores ligados ao manejo da cultura (ORTOLANI et al., 1991). No Hemisfério Sul, as necessidades hídricas máximas são atingidas entre a floração e a queda de novembro. Por isso, neste período, frequentemente há necessidade de irrigação. Quando a evapotranspiração do citros atinge 5 mm dia<sup>-1</sup>, a fração de água disponível no solo (p) será de 0,5 que, para um solo com 120 mm de capacidade de água disponível (CAD), representa 60 mm de água útil (ALLEN et al., 1998).

Em plantas adultas, a formação de folhas novas excede a queda de folhas velhas, de tal forma que os cítricos permanecem sempre verdes. A partir da floração, ocorre o primeiro fluxo de crescimento vegetativo, juntamente com o estabelecimento e crescimento do fruto, sendo, portanto, uma fase de alta demanda de energia e de necessidade hídrica. Assim, as fases de floração e de início da frutificação (frutos com diâmetro inferior a 3 cm) são especialmente sensíveis à baixa disponibilidade hídrica, sendo impostas perdas econômicas significativas devido à abscisão das estruturas reprodutivas. Em geral, a principal florada dos citros ocorre entre setembro e outubro, no Estado de São Paulo. Camargo et al. (1999) constataram que a produtividade de laranjeira 'Valência' é especialmente sensível ao estresse hídrico na fase de floração e início de fixação dos frutos, que ocorre entre outubro e novembro. Contudo, existem espécies de citros que apresentam várias floradas durante o ano agrícola, como a limeira ácida 'Tahiti' (SOUZA et al., 2004). Nesses casos, o período de suscetibilidade das plantas à restrição hídrica é maior, sendo mais afetadas pelas estiagens. De fato, o fator hídrico é determinante da produtividade de pomares adultos, sendo importante em, praticamente, todas as fases fenológicas, haja vista que há presença constante de drenos, tais como flores e frutos, em especial nas cultivares tardias. Chuvas no início do período de desenvolvimento do fruto, a partir de dezembro, contribuem para o aumento da produção (PAULINO & VOLPE, 2001b). Pesquisas desenvolvidas por Tubelis & Salibe (1988, 1989, 1991) constataram que as chuvas de abril e setembro, do ano anterior à colheita e, de março, do ano da colheita, têm efeitos depressivos na produção.

O sistema radicular das plantas cítricas é dependente da cultivar de porta-enxerto, sendo o limoeiro Cravo o mais utilizado na citricultura brasileira. A profundidade efetiva (onde mais de 80% das raízes são encontradas) do sistema radicular de limeira ácida 'Tahiti', enxertada em limoeiro 'Cravo' com 8 anos de idade, é de 0,40 m na linha de plantio (MACHADO & COELHO, 2000). Nesta mesma combinação de copa e porta-enxerto, a distância efetiva (distância em relação ao tronco da planta em que mais de 80% das raízes são encontradas) está entre 50 e 75% do raio de projeção da copa. Todavia, espécies distintas de porta-enxerto apresentam variação na estrutura do sistema radicular, com a profundidade efetiva variando entre 0,31 e 0,53 m na linha de plantio e, de 0,68 m na entrelinha, em pomares com plantas de 11 anos de idade de limeira ácida 'Tahiti' enxertada em limoeiro 'Rugoso da África', tangerineira 'Sunki', *Poncirus trifoliata*, citrangeira 'C13' ou limoeiro 'Volcameriano' (NEVES et al., 2004). Em plantas jovens de limeira ácida 'Tahiti' (aproximadamente 3 anos), Alves Júnior et al. (2004) observaram que a profundidade efetiva das raízes foi de 0,3 m, não sendo afetada por lâminas de irrigação variando entre 25 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). Entretanto, o crescimento horizontal das raízes foi afetado pela irrigação, com o sistema radicular sendo mais concentrado horizontalmente nas lâminas de 75 e 100% de ETc. A prática da irrigação também ocasiona alteração no padrão das raízes, causando aumento na proporção de raízes finas em laranjeira 'Pera' cultivada em solos arenosos (COELHO et al., 2002). Considerando os dados apresentados para as diversas espécies de citros, há pequena variação da profundidade efetiva das raízes em plantas com idade variando entre 3 e 11 anos. Cabe considerar que o sistema radicular de plantas, com idades inferiores a 3 anos, é mais propenso aos efeitos negativos da baixa disponibilidade de água devido à menor capacidade de exploração dos solos.

A evapotranspiração da cultura (ETc) é um componente fundamental para o manejo da irrigação, porém, a ETc é de difícil medição, especialmente em plantas de porte arbóreo como os citros, sendo então

necessária a sua estimativa através do coeficiente de cultura (Kc), o qual relaciona a ETc dos citros com a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Os valores do Kc variam conforme as características do cultivo e as práticas culturais nos pomares, apresentando variação sazonal (PIRES et al., 2005). Em geral, os valores de Kc, para os citros, variam entre 0,65 e 0,75 e, entre 0,85 e 0,90, quando há, respectivamente, ausência e presença de plantas concorrentes nas entrelinhas de plantio (DOORENBOS & KASSAM, 1979). O desenvolvimento das plantas pode ser considerado na estimativa de Kc. Neste sentido, Allen et al. (1998) indicam valores entre 0,45 e 0,85 para os citros, como pode ser observado na Tabela 2. Em tipos climáticos brasileiros, os valores médios de Kc variam de 0,55, em limeira ácida ‘Tahiti’ cultivada em Visconde do Rio Branco, MG (SOUZA et al., 2004), a 0,8, para a mesma espécie cultivada em Limeira, SP (VIEIRA & RIBEIRO, 1993). Em condições de boa disponibilidade hídrica, o Kc aproximou-se de 1,0 em laranjeiras doces enxertadas em laranjeira ‘Caipira’ ou limoeiro ‘Cravo’ e cultivadas em Pindorama, SP (IAFFE & ARRUDA, 1997), sendo o valor unitário de Kc adotado por Camargo et al. (1999) na modelagem da produtividade de laranjeiras ‘Valência’ crescidas na região de Matão, SP. No entanto, recomenda-se utilizar o valor de Kc para o local e condições de cultivo, sempre que disponível.

**Tabela 2. Coeficiente de cultura (Kc) para os citros, considerando o ciclo de desenvolvimento (inicial, médio e final) das plantas e a cobertura do terreno no pomar. Adaptado de Allen et al. (1998).**

Condição da cultura	Kc inicial <sup>1</sup>	Kc médio	Kc final
<b>Entre linhas sem cobertura</b>			
20% do pomar coberto por citros	0,50	0,45	0,55
50% do pomar coberto por citros	0,65	0,60	0,65
70% do pomar coberto por citros	0,70	0,65	0,70
<b>Entre linhas com cobertura</b>			
20% do pomar coberto por citros	0,85	0,85	0,85
50% do pomar coberto por citros	0,80	0,80	0,80
70% do pomar coberto por citros	0,75	0,70	0,75

<sup>1</sup> Kc inicial = período da floração; Kc médio = período de frutificação até que os frutos tenham diâmetro equatorial entre 2,5 e 3 cm; Kc final = período entre o final da formação do fruto e a maturação (adaptado de PIRES et al. 2005).

A eficiência no uso da água, na produtividade de frutas cítricas, é de 2 a 5 kg de frutos m<sup>-3</sup> de água, para frutos com teor de umidade igual ou superior a 75% (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Considerando as fases de floração e frutificação como as mais críticas em relação à disponibilidade de água, índices de sensibilidade de -0,08, na pré-floração, +1,18, na floração e, -0,32, na fixação dos frutos, foram obtidos em estudo de modelagem agrometeorológica da produtividade de laranjeira ‘Valência’ (CAMARGO et al., 1999).

A deficiência hídrica causa enrolamento das folhas dos citros, sintoma mais evidente em regiões com clima mais quente e seco. Este sintoma é precedido pelo fechamento parcial dos estômatos e pela redução da transpiração e da fotossíntese, em decorrência da desidratação da copa das plantas, em condições de limitação hídrica (MACHADO et al., 1999; SILVA et al., 2005; RIBEIRO & MACHADO, 2007). Em relação à floração e frutificação, há abscisão de botões florais, flores e frutos com diâmetro inferior a 3 cm, quando a deficiência hídrica ocorre entre setembro e dezembro. Entre a fixação dos frutos e o final da maturação, a falta de água promove frutos com tamanho reduzido e, neste sentido, Ortolani et al. (1991) relatam a importância da água no desenvolvimento do fruto, citando um aumento de 4 cm<sup>3</sup> no fruto para cada 25 mm de chuva.

Outro aspecto relevante diz respeito aos teores de sólidos solúveis (açúcares) nos frutos cítricos, sendo essa variável associada ao estresse por seca. Teores elevados de sólidos solúveis são verificados quando a umidade do solo é moderada, durante o período de maturação, e quando boa disponibilidade hídrica ocorre apenas nos períodos mais secos e quentes, para evitar a abscisão de folhas e frutos. Longos períodos de chuva diminuem a concentração de sólidos solúveis nos frutos, assim como longos períodos nublados podem reduzir a fotossíntese e o acúmulo de açúcar (ALBRIGO, 1992).

## 2.2 Temperatura

O desenvolvimento dos citros é observado em larga faixa de temperatura, propiciando boa adaptação das espécies às condições climáticas brasileiras. Spiegel-Roy & Goldschmidt (1996) citam que o principal fator limitante da distribuição geográfica dos citros é a baixa temperatura, que prejudica a qualidade dos frutos. O efeito da variação de temperatura é visível em aspectos qualitativos dos frutos, tais como tamanho do fruto, acidez do suco, conteúdo de sólidos solúveis e coloração do epicarpo. Em contrapartida, as temperaturas mais elevadas de climas tropicais promovem frutos sem coloração característica, com maior conteúdo de sólidos solúveis e com baixa acidez, prejudicando a qualidade do fruto para o mercado in natura (SPEIGEL-ROY & GOLDSCHMIDT, 1996). Temperaturas mais baixas, a partir de maio, são necessárias à degradação da clorofila e à mudança de cor dos frutos.

A baixa temperatura do solo tem consequências marcantes no metabolismo dos citros, afetando a absorção de água pelas raízes, promovendo menor hidratação da parte aérea, reduzindo a abertura estomática e a fotossíntese (RIBEIRO, 2006; MAGALHÃES FILHO et al., 2008). Portanto, reduções significativas nas trocas gasosas e na hidratação das plantas são esperadas durante o inverno, em áreas da região central e sul do Estado de São Paulo, onde a deficiência hídrica varia, de moderada a fraca, e ocorrem menores temperaturas.

Temperaturas do ar inferiores a 13 °C causam redução do metabolismo vegetal e paralisação do crescimento da parte aérea dos citros. Em relação ao sistema radicular, Bevington & Castle (1985) reportam que o crescimento é paralisado em temperaturas inferiores a 7 °C, enquanto Spiegel-Roy & Goldschmidt (1996) relatam que o crescimento das raízes ocorre de forma ininterrupta entre 13 e 36 °C, variando a velocidade de crescimento em função da disponibilidade de água, da aeração e da própria temperatura. É importante considerar que o crescimento vegetativo, na copa dos citros, ocorre de forma alternada com o crescimento das raízes (BEVINGTON & CASTLE, 1985), sugerindo que o termo “crescimento não aparente” seja mais adequado do que repouso ou dormência. Em princípio, o aumento da temperatura tende a acelerar o metabolismo e a promover o crescimento das plantas, sendo a respiração o principal processo envolvido. Todavia, a faixa ótima de temperatura para a fotossíntese dos citros situa-se entre 25 e 30 °C, ocorrendo aumento acentuado da fotorrespiração e perda da eficiência fotossintética em temperaturas superiores a 35°C (RIBEIRO et al., 2004; MACHADO et al., 2005). Um dos primeiros alvos do estresse térmico é o sistema de membranas da célula, onde são encontradas as moléculas de clorofila responsáveis pela absorção de energia luminosa e pela atividade fotoquímica. A temperatura crítica, em que ocorrem danos significativos às reações fotoquímicas, é de, aproximadamente, 46 °C em espécies tropicais (SMILLIE & NOTT, 1979).

Temperaturas diurnas de 27 °C e noturnas de 13 °C induzem à formação de grande número de flores (MOSS, 1973; DI GIORGI et al., 1991). Esta influência da amplitude térmica diária, assim como da temperatura absoluta, é tema atual de pesquisas conduzidas no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), observando-se que, ambientes com maior temperatura média promovem maior crescimento vegetativo e maior consumo das reservas de carboidratos nos citros, o que estimula a atividade fotossintética (RIBEIRO et al., 2005b; RAMOS, 2009). Esta informação ajuda a compreender o motivo pelo qual os pomares apresentam boa produtividade em regiões com altas temperaturas e deficiência hídrica sazonal acentuada.

A temperatura letal máxima, para folhas de citros, encontra-se entre 54 e 56 °C (AHRENS & INGRAM, 1988), indicando que as plantas, em condições normais de cultivo, não estão suscetíveis a tal injúria. Em relação à temperatura mínima, há comprometimento da fotossíntese de laranjeiras em temperaturas noturnas ao redor de 8 °C, sendo a intensidade do estresse influenciada pelo porta-enxerto (MACHADO et al., 2008). Várias espécies de citros (*C. sinensis*, *C. aurantium*, *C. reticulata* e *C. limon*) e híbridos (*C. sinensis* x *P. trifoliata*) apresentam anomalias no crescimento vegetativo sob condições de temperatura de 38 °C (REUTHER et al., 1979). Os sintomas visuais, da ocorrência de temperaturas elevadas, são encurtamentos das brotações e folhas pequenas, espessas e encurvadas. As folhas podem apresentar alteração no padrão de nervuras, assim como aspecto distorcido e coloração amarronzada, quando submetidas a 40 °C, por 8 horas (REUTHER et al., 1979). Em condição de campo, a temperatura foliar, em regiões expostas da copa de laranjeiras, chega a 39 °C durante o verão, na região central do Estado de São Paulo (RIBEIRO et al., 2005a). Esses dados sugerem algum efeito negativo no crescimento das brotações de verão, quando tal condição ambiental é persistente, sendo certamente mais severo nas regiões norte e oeste do Estado de São Paulo e no nordeste do país. Além disso, a floração é uma fase bastante sensível à alta temperatura, ocorrendo abscisão significativa de estruturas reprodutivas com a elevação da temperatura do ar (> 35 °C), no início da primavera (DAVIES & ALBRIGO, 1994). Em Limeira - SP, as temperaturas altas, no período de pré-floração, influenciam negativamente a produção de laranjeiras Pêra (PAULINO & VOLPE, 2001b).

Há necessidade de distinção entre temperatura ótima para a fotossíntese e para o crescimento dos citros. A temperatura ótima para a fotossíntese de laranjeira 'Pera' é de 25 °C, independentemente do regime térmico na fase de crescimento. Nesta fase, a fotossíntese é estimulada em ambientes mais quentes, isto é, sob temperaturas mais elevadas (RIBEIRO et al., 2004). Cabe ainda ressaltar que a resposta fisiológica, ao aumento da temperatura instantânea, é dependente das condições de crescimento, sendo observada maior tolerância térmica da fotossíntese em plantas que crescem em ambientes com maior temperatura média (RIBEIRO et al., 2006b).

A contabilização das unidades térmicas, através do método de graus-dia acumulados, tem sido usada para estimar a quantidade de calor exigida para o crescimento e a maturação dos citros, ou seja, o acúmulo de graus-dia calculado, subtraindo-se a temperatura basal mínima da temperatura média mensal, multiplicando cada valor pelo número de dias compreendido entre a queda de pétalas e a maturação do fruto. A contabilização do acúmulo térmico pode ser útil na identificação de diferentes áreas para as cultivares precoces e tardias, considerando suas necessidades de calor acumulado. É importante salientar que, além da temperatura basal mínima, comumente de 13 °C, deve-se considerar, também, a temperatura basal máxima, geralmente, 35 °C, acima da qual os citros paralisam ou diminuem suas atividades biológicas (BEN MECHLIA & CARROLL, 1989). Na região de Limeira – SP, Paulino & Volpe (2001a) encontraram, para o desenvolvimento dos frutos de laranjeiras Pêra, temperatura-base inferior de 14,5 °C, independentemente da temperatura-base superior ser de 32 °C, 35 °C, ou mesmo sem considerar a temperatura basal superior.

O ácido cítrico é o mais acumulado no fruto, começando o processo logo após a formação do fruto e, rapidamente, alcançando o valor máximo. As condições nutricionais e, particularmente, a temperatura são os fatores que mais influenciam no acúmulo deste ácido. Após alcançar o valor máximo, a concentração de ácido cítrico decresce, durante a maturação, devido ao aumento do tamanho do fruto (diluição) e da respiração. Quanto maior é a temperatura, durante a maturação, maior é o decréscimo da concentração de ácidos, devido à respiração (RASMUSSEN et al., 1966; ALBRIGO, 1992; VOLPE, 1999; VOLPE et al., 2000).

Avaliando amostragens de rotina para o processamento industrial, em Bebedouro - SP, Volpe et al. (2000) encontraram boa correlação entre a variação dos indicadores de qualidade do suco (concentração de ácidos e de sólidos solúveis) e a soma de graus-dia, conforme ilustra a Figura 3, em laranja 'Valência' e 'Natal', corroborando os resultados obtidos por Kimball (1984), na Califórnia. Stenzel et al. (2006) também encontraram alta correlação entre a curva de maturação de frutos de

laranjeiras 'Folha Murcha' e a soma de graus-dia no norte do Estado do Paraná. Geralmente, na evolução dos sólidos solúveis e da acidez, o melhor ajuste é a regressão quadrática e, para a razão sólidos solúveis/acidez (ratio), o melhor é a regressão linear. Acredita-se que o efeito da temperatura se faz de duas maneiras: no outono, quando se inicia a maturação, a soma de temperaturas está, provavelmente, mais diretamente relacionada ao crescimento do fruto e, conseqüentemente, ao aumento da capacidade do fruto em absorver e reter água, o que, por sua vez, provoca a diluição do ácido; no verão, por outro lado, altas temperaturas causariam atividade respiratória mais intensa, diminuindo a reserva de ácido cítrico nas células do suco. É importante lembrar que as laranjas, por serem frutos não climatéricos, diminuem, naturalmente, a respiração durante a maturação.

A soma de graus-dia não somente reflete o crescimento do fruto, mas também auxilia na estimativa da data de maturação e de colheita de uma cultivar. Para as cultivares tardias, a maturação pode atrasar-se devido ao pequeno acúmulo de calor durante ou após o inverno, sob condições subtropicais. Nas condições de clima tropical, o intervalo temporal entre as datas de maturação da cultivar precoce e da tardia é bastante reduzido (MONSELISE, 1986; além disso, é possível constatar uma rápida redução no teor de acidez e na evolução nos teores de açúcares, determinando maturação mais precoce do que em condições de clima mais frio. Uma maior capacidade de retenção dos frutos maduros na planta é uma característica de grande interesse comercial.

No Estado de São Paulo, Ortolani et al. (1991) selecionaram cinco grupos de localidades, em função da latitude, para a comparação de graus-dia (GD) acumulados a partir da florada (1º de setembro) até as épocas prováveis de maturação de laranja ("ratio" 12), para as cultivares precoces, médias e tardias. Com base nessas informações, os autores verificaram que a maturação das cultivares de ciclo precoce se completa com 2500 GD, de ciclo médio com 3100 GD e, de ciclo tardio, com 3600 GD. Os limões requerem 2600 GD (AMARAL, 1982), enquanto pomelos necessitam de 3100 GD (KOLLER, 1994) e toranjas entre 6000 a 6700 GD (AMARAL, 1982). Pasqua (2000) encontrou grande variabilidade de ano para ano no total de graus-dia, a partir da floração, para atingir um determinado valor da razão sólidos solúveis/acidez em frutos de laranjeiras Pêra, nas regiões de Limeira e Pindorama - SP. Isso ocorre porque, cerca de 60 a 70% da variabilidade interanual, na quantidade de sólidos solúveis por caixa, podem ser devidas às diferenças de temperatura e chuvas, em épocas-chaves do ano, como a indução floral e o período de diferenciação de gemas, antes da florada. Este período é responsável por 40% da variação anual da qualidade do fruto, indicando que o efeito do clima, na qualidade, ocorre muito antes do que se considerava (ALBRIGO, 1990). Além disso, o vigor da planta, representado pela carga de frutos na safra anterior, exerce grande influência no desenvolvimento dos frutos da safra atual (KIMBALL, 1984; PAULINO & VOLPE, 2001b).

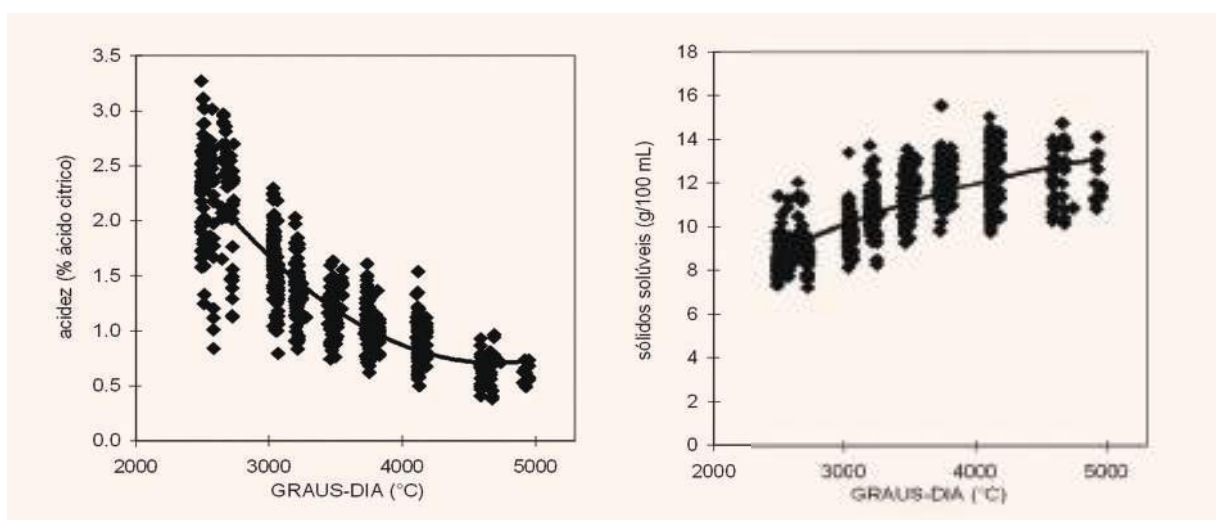


Figura 3. Evolução do teor de acidez e dos sólidos solúveis, em função de graus-dia acumulados, em frutos da primeira florada de laranjeiras 'Valência' e 'Natal', com 6 a 10 anos de idade, em Bebedouro, SP. Adaptado de Volpe et al. (2000).

Em relação ao espaçamento entre as plantas, Boswell et al. (1982) observaram que o mesmo interfere na temperatura do pomar e na penetração de luz. Em laranja 'Navel', com 10 anos de idade, cultivada na Califórnia - EUA, os frutos alcançaram ratio 8 (razão entre sólidos solúveis e acidez total) no espaçamento de 5,5 x 5,5 m, doze dias antes que os frutos das árvores do espaçamento 2,7 x 4,6 m e, oito dias antes que o espaçamento 4,6 x 4,6 m. Boswell et al. (1982) avaliaram as temperaturas do ar em pomares de laranja, durante o outono e inverno, notando que as temperaturas máximas e mínimas foram maiores nos pomares com maior espaçamento, no outono, enquanto, no inverno, as temperaturas mínimas foram levemente maiores no pomar com menor espaçamento entre plantas. Por outro lado, Teófilo Sobrinho et al. (2002) não observaram alteração na qualidade de laranjas em plantios com espaçamento variando de 6 x 1 m a 6 x 4 m.

### 2.3 Radiação Solar

Pomares de citros, cultivados em condições de alta densidade de plantas, estimulam as plantas cítricas a crescer em altura, na busca pela luz solar. Nas partes sombreadas da copa não há floração e as folhas tornam-se escassas, culminando com a morte dos ramos excessivamente sombreados (KOLLER, 1994). O ponto de compensação lumínica varia de 12 a 17,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa (RFA, entre 400 e 700 nm), quando consideradas espécies e híbridos de citros (HABERMANN et al., 2003; MACHADO et al., 2005). Sob condições ótimas de temperatura e umidade do ar, a saturação luminosa da fotossíntese ocorre, em radiação fotossinteticamente ativa, entre 800 a 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em diferentes espécies de citros (MACHADO et al., 2005; RIBEIRO et al., 2006b). Os valores máximos de fotossíntese instantânea chegam a 13  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , ocorrendo, normalmente, durante a primavera e o verão e, considerando o valor integrado ao longo de um dia, laranjeiras 'Valência' chegam a fixar 320  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  na porção exposta do dossel vegetativo (RIBEIRO & MACHADO, 2007).

O baixo ponto de saturação luminosa dos citros indica que as plantas são frequentemente expostas ao excesso de radiação solar ao longo de um dia. Como a RFA atinge valores superiores a 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ao meio-dia, durante o verão, nas regiões de cultivo dos citros, o excesso de energia solar causa fotoinibição nos citros nessas condições. Esse mecanismo fisiológico tem função fotoprotetora (evita a degradação de proteínas e geração de espécies reativas de oxigênio) e as plantas apresentam rápida recuperação da eficiência quântica da fotossíntese quando a intensidade luminosa decresce (RIBEIRO & MACHADO, 2007). A fotoinibição é dita dinâmica e não causa redução na fixação de  $\text{CO}_2$  em moléculas de carboidrato, nos citros. Regiões de clima mais quente e seco favorecem a ocorrência da fotoinibição, como é o caso das áreas situadas no norte e no oeste do Estado de São Paulo (RIBEIRO & MACHADO, 2007).

A capacidade de absorção de radiação solar, em nível de fotossistema, não é alterada significativamente ao longo do ciclo da planta, sendo mais uma consequência de mudanças morfo-fisiológicas durante a ontogenia da folha. Folhas jovens e imaturas têm menor capacidade de absorção e utilização de energia solar, quando comparadas com folhas maduras. Evidentemente, maiores índices de área foliar (IAF) promovem maior interceptação da energia incidente e maior aproveitamento da energia disponível. Quando o alto IAF promove auto-sombreamento excessivo na copa dos citros, as plantas tendem a perder as folhas mais internas. Como consequência, a copa fica com uma região oca, onde existem apenas galhos, e não há frutos. Assim, os frutos dos citros concentram-se, principalmente, na camada externa do dossel, em geral, nos primeiros 0,90 m de folhagem (DAVIES & ALBRIGO, 1994). Em laranja, os frutos dispostos externamente na copa, portanto mais ensolarados, apresentam maior conteúdo de vitamina C do que os frutos inseridos no interior da copa (sombreados). A produtividade e a qualidade dos citros aumentam em condições de boa disponibilidade de radiação solar. Tal condição torna possível a presença de folhas e frutos no interior do dossel, aumentando o volume de copa produtiva, por planta e por unidade de área.

Grande parte do conhecimento atual, sobre as respostas fisiológicas dos citros à disponibilidade de energia solar, foi gerado no estudo de folhas expostas do dossel vegetativo. Todavia, essas representam apenas uma parte (aproximadamente 30%) da área foliar total da planta, sendo necessário saber a contribuição das demais camadas do dossel em relação à fixação de carbono e ao suprimento de reservas para o crescimento, floração e frutificação dos citros (RIBEIRO & MACHADO, 2007).

## 2.4 Fotoperíodo

As espécies cítricas não são induzidas à floração pelo fotoperíodo, sendo a indução floral relacionada a outras condições climáticas, como a redução da temperatura e a baixa disponibilidade hídrica.

## 2.5 Vento

Devido à fragilidade do caule e dos ramos, a fase inicial de crescimento da planta de citros, quando da implantação do pomar, é uma das mais suscetíveis aos ventos. Plantas adultas protegem-se mutuamente, sendo a parte apical da copa a mais exposta. Em geral, o dossel de uma cultura, com plantas altas, tal como um pomar de laranjeiras, está localizado em um nível de maior velocidade do vento, gerando maior turbulência, com pequena resistência da camada limite e maior coeficiente de arrasto. Dessa maneira, a porção superior do dossel vegetativo está bem acoplada à atmosfera e isso resulta numa maior transpiração. O vento aumenta a remoção de vapor de água do pomar, conseqüentemente, a umidade do ar diminui e a evapotranspiração aumenta. Neste caso, o vento atua como fator aerodinâmico que interfere na evapotranspiração do citros, aumentando a demanda hídrica dos pomares.

Na fase reprodutiva da espécie, o pólen é transferido, da antera para o estigma, pelo vento ou por insetos. De modo geral, o vento favorece a polinização dos citros, que são afetados direta e indiretamente pelo movimento do ar. Por outro lado, o vôo de muitos insetos é diretamente prejudicado pelo vento, como é o caso das abelhas, que têm o vôo inibido quando expostas a ventos moderados (entre 6,7 a 8,9 m s<sup>-1</sup>) (WILLIAMS & WILSON, 1970). Logo após a polinização e, por longo período, ocorre a fixação dos frutos, que depende basicamente da produção do ano anterior, da temperatura durante o período de pré-floração, da chuva e do vento, durante a floração (VOLPE, 1992).

Outro efeito do vento refere-se a sua ação mecânica, podendo, de acordo com a velocidade e a fase fenológica da planta, causar danos diretos e indiretos, reduzindo a taxa de crescimento e o vigor dos cítricos. No entanto, ainda não existem informações suficientes para descrever, com detalhes, a relação entre o vento e o crescimento dos citros. Ventos com velocidade inferior a 3 m s<sup>-1</sup> (brisa leve) são considerados benéficos, especialmente devido à remoção da umidade, fazendo com que o tempo de molhamento foliar seja reduzido e, assim, seja mantida a sanidade do pomar. À medida que aumenta a velocidade, a proporção de transporte de esporos e de órgãos infectados se eleva em número e distância, tornando o quadro epidêmico mais sério. O deslocamento de partículas sólidas pelo vento provoca ferimentos, e a própria turbulência do ar produz atrito entre os vários órgãos da planta, facilitando os processos de infecção. Esporos de diversos patógenos podem ser carregados pelo vento e são importantes na disseminação, a grandes distâncias, de doenças dos citros, como, por exemplo, verrugose, melanose e cancro cítrico, dentre outras. Destaque-se, também, que o quadro sintomatológico de pragas no pomar, como o ácaro da ferrugem, é agravado por ventos excessivos.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

As chuvas convectivas de verão, de curta duração, são de alta intensidade, com gotas maiores que, em queda, adquirem maior velocidade final, causando maiores impactos sobre as plantas. Entretanto, tais impactos não chegam a provocar maiores danos aos tecidos das plantas cítricas, pois sua constituição lenhosa oferece boa resistência. Contudo, este tipo de chuva pode associar-se ao granizo, que afeta, com maior frequência, as regiões citrícolas localizadas em latitudes médias, no verão, bem como as regiões tropicais de altitudes elevadas, diminuindo em regiões litorâneas e equatoriais.

Os danos provocados pelo granizo dependem de inúmeros fatores, tais como, o tamanho da pedra, o número de pedras por unidade de área, a duração da tempestade, a velocidade da queda, a idade e a fase do desenvolvimento da planta, a presença de chuva intensa e de ventos fortes. Normalmente, a pedra tem mais de 0,5 cm de diâmetro, alcançando, no máximo, 10 cm. Os danos se tornam apreciáveis



quando ocorrem mais de 10 pedras por 0,10 m<sup>2</sup>. Normalmente, uma tempestade de granizo tem a duração de 10 s a 40 min, com frequência maior de 3 a 5 min. As pedras em forma de disco não causam danos como as pedras esféricas e oblongas. As plantas jovens e as plantas adultas, no estágio da floração e maturação dos frutos, são as que mais sofrem danos devido à ocorrência de granizo.

Volpe (1992) relata que o efeito do granizo e de chuvas excessivas sobre a floração e a fixação do fruto pode ser através do dano mecânico direto sobre as flores e, conseqüente, limitação da polinização. Embora não existam muitas pesquisas sobre o assunto no Brasil, os diversos registros de danos provocados por granizo, em pomar de citros, relatam queda parcial ou total dos órgãos vegetais (folhas, ramos, flores e frutos), podendo, em muitos casos, destruir plantações, especialmente aquelas recém-implantadas. A incidência de granizo em frutos, além de causar a queda, pode provocar lesões na epiderme ou até mesmo o rompimento do tecido (rachadura), inviabilizando-os comercialmente.

Não obstante a baixa frequência de granizo nas regiões citrícolas, os produtores deveriam criar sistemas de previsão e combate, à semelhança do que fizeram os produtores de maçã do Estado de Santa Catarina.

### 3.2 Seca e Veranico

Assim como a variação de temperatura, a época e a extensão dos períodos de deficiência hídrica causam grande efeito no crescimento e na qualidade do fruto. Em condições, cujos teores de água disponível no solo foram inferiores a 60%, ocorreu redução da abertura estomática, da fotossíntese, da transpiração e do potencial da água na folha de limeiras ácidas 'Tahiti' (SILVA et al., 2005). Nesta situação, os valores limites de potencial da água na folha e no solo, para que não houvesse efeito da deficiência hídrica nas variáveis fisiológicas citadas, foram de -0,62 MPa (medido antes do amanhecer) e -48,8 kPa, respectivamente (SILVA et al., 2005).

A abscisão foliar em citros é observada quando o potencial de água na folha acha-se ao redor de -2,8 MPa (PIRES et al., dados não publicados), sendo esta uma condição de déficit hídrico severo. O estresse hídrico pode resultar em crescimento mais lento do fruto ou em retração diária do tamanho do fruto. De fato, Ginestar & Castel (1996) apontam que o estresse hídrico, durante o crescimento dos frutos, causa redução no seu tamanho.

A ocorrência de veranico durante ou após a florada, quando os frutos ainda não estão fixados, é extremamente prejudicial para a produtividade dos pomares. A fase de estabelecimento e de crescimento inicial dos citros também é bastante sensível à falta de água, ocorrendo atraso no crescimento e desenvolvimento das plantas, cuja principal conseqüência é o comprometimento da produção de frutos em curto e médio prazo.

### 3.3 Vento intenso (Ventanias e vendavais)

A ação exercida pelos ventos depende da velocidade, da direção e da duração, bem como das características de temperatura e de umidade. Ventos quentes e secos promovem excessiva evapotranspiração e queda de frutos prematuros, enquanto os ventos frios podem provocar a queda de folhas e frutos, como conseqüência de geadas de advecção. Florações muito precoces expõem as plantas cítricas aos riscos de ventos frios, no final do inverno, com ocorrência de intensa atrofia floral.

Antes da ocorrência de ventania (ventos com velocidade entre 21,1 e 24,4 m s<sup>-1</sup>) ou do vendaval (24,8 a 28,3 m s<sup>-1</sup>), já são percebidos diversos danos aos citros (Tabela 3). Como conseqüência da ação mecânica de ventos, há abscisão de flores, de folhas, de ramos e de frutos, além de ferimentos na planta devido ao atrito. Ventos com velocidade superior ao vento regular (9 m s<sup>-1</sup>) danificam as brotações, as flores e os frutos novos, deformam a copa das árvores, atrasam o crescimento e diminuem drasticamente a produção (KOLLER, 1994). Ventos com estas características predominam na região do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, durante a primavera e o início do verão.

Nas principais áreas de cultivo de citros do Estado de São Paulo, o vento não se caracteriza num problema sério e, por isso, em geral, os pomares não são protegidos com quebra-ventos. Em

outras regiões do Brasil, a velocidade do vento pode ser fator tão importante quanto a temperatura e a disponibilidade hídrica.

Benefícios adicionais proporcionados por quebra-ventos são relatados por Rodriguez et al. (1986) e por Pohlan et al. (1986) que observaram, em laranja Valência, aumento de 25 a 77% de frutos com qualidade para exportação, em pomares abrigados do vento, enquanto Volpe & Schöffel (2007) descreveram aumento da precocidade das laranjas, em pomares igualmente protegidos.

**Tabela 3. Danos causados pela ação do vento em plantas de citr**

Escala de Beaufort	Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )	Definição	Dano aos citros	Autor
4	5,6 a 8,2	Vento moderado	Facilita a infecção por patógenos	Moreira (1985)
			Danos aos frutos	Green (1968)
5	8,7 a 10,8	Vento regular	Danos às brotações, às flores e aos frutos novos; deformação da copa das árvores; atraso no crescimento e diminuição da produção	Koller (1994)
6	11,3 a 13,9	Vento meio forte	Queda de folhas e frutos	Moreira (1985)
7	14,5 a 17,0	Vento forte	Queda de ramos novos ou ramos grandes carregados com frutos	Moreira (1985)

### 3.4 Geadas

Entre as latitudes de 18 e 20 °S, na região Sudeste do Brasil, as geadas são esporádicas e de fraca intensidade, insuficientes para causar danos sérios aos citros. Mas, em maiores latitudes, na região Sul do Brasil, os pomares cítricos frequentemente enfrentam graves danos por geada de advecção ou por geada de radiação. As geadas de advecção são provocadas pela incidência de ventos com baixa temperatura, enquanto a geada de radiação ocorre devido à intensa perda de radiação infravermelha para a atmosfera, durante o período de resfriamento noturno. Conseqüentemente, acumula-se ar frio, que possui densidade maior que o ar quente, junto à superfície, causando inversão térmica.

A tolerância dos citros às temperaturas baixas é variável de acordo com a espécie, cultivar, órgão, idade, estágio fenológico, intensidade e duração do frio. Considerando as diferentes espécies de citros, há variação do grau de tolerância às baixas temperaturas, podendo-se citar, em ordem crescente, de tolerância: cidreiras, limeiras ácidas, limeiras doces, limoeiros, toranjeiras, pomeleiros, laranjeiras doces, laranjeiras azedas, tangerineiras, plantas de kumquat e *Poncirus trifoliata* (AMARAL, 1982). A maior tolerância ao frio do *Poncirus trifoliata* motivou sua ampla utilização como porta-enxerto nas regiões cítricas do sul do Brasil. A tangerineira ‘Satsuma’ tolera temperaturas inferiores a -10 °C, enquanto o limoeiro não sobrevive a temperaturas menores do que -4 °C.

As flores dos citros são os órgãos mais sensíveis ao frio. Em seguida, em escala crescente de tolerância vêm brotações novas, folhas jovens, folhas adultas, frutos verdes, frutos maduros, ramos finos, ramos grossos, tronco e raízes (MONTENEGRO, 1980; KOLLER, 1994). Os frutos dos citros apresentam lesões quando sujeitos a temperaturas inferiores a -4 °C, condição que promove danos a folhas e ramos novos de laranjeiras. Segundo AMARAL (1982), temperaturas inferiores a -9 °C determinam a morte das laranjeiras. O congelamento de frutos verdes de tangerineiras, limoeiros, pomeleiros e laranjeiras ocorre entre temperaturas de -1,4 a -2,0 °C (NOGUEIRA, 1979).

Na fase de paralisação do crescimento vegetativo, as plantas cítricas são menos suscetíveis aos danos pelo frio, especialmente quando o porta-enxerto utilizado é que condiciona a copa dormência total durante o inverno, elevando o grau de tolerância ao frio (IDE et al., 1980). Mesmo nos casos

em que a duração não é prolongada, as geadas tardias, que ocorrem quando as plantas estão na floração ou no início da frutificação, provocam a queda das flores e dos frutos. Além disso, as baixas temperaturas adiam ou impedem a germinação do grão de pólen, podendo inviabilizar o crescimento do tubo polínico, de maneira que a fecundação não ocorra.

### 3.5 Chuva excessiva ou Excesso hídrico prolongado

Grande parte da produção de citros ocorre em regiões que dispõem de chuvas anuais entre 1000 a 2000 mm e uma estação seca sazonal. No entanto, a disponibilidade de água, ao longo do ciclo fenológico dos citros, depende essencialmente do balanço entre a evapotranspiração da cultura e a chuva. A ocorrência de chuva (escassa, suficiente ou excessiva) é fator que condiciona o desempenho dos pomares de citros.

O cultivo no Estado de São Paulo é beneficiado quando há um período de seca antecedendo a primavera, entre junho e agosto. Essa condição prepara a planta para a fase reprodutiva, ocorrendo floração abundante quando houver umidade favorável. Na região sul do Brasil, há melhor distribuição das chuvas ao longo do ano, por isso as chuvas de inverno, geralmente, atendem às necessidades dos citros, embora no verão sejam freqüentes os períodos com déficit hídrico (veranicos).

As chuvas abundantes, no período de inverno, também são prejudiciais à floração dos citros. Chuvas não esperadas e com volumes significativos (> 20 mm), durante o inverno, tendem a induzir à brotação e, conseqüentemente, a floração dos citros. Este fluxo reprodutivo é prejudicado pelo período de escassez de chuvas, que normalmente ocorre até o início da primavera, em regiões subtropicais. Em plantas adultas de citros, chuvas constantes, por longo período, podem comprometer a produtividade, por favorecer maior incidência de doenças e pragas, alterar o balanço hormonal e induzir múltiplas florações (ORTOLANI et al., 1991). Além disso, chuvas freqüentes no inverno, como é o caso da região sul do Brasil, não apenas atendem à evapotranspiração do citros, como podem promover períodos com encharcamento do solo, favorecendo a proliferação de doenças, principalmente aquelas que atacam o sistema radicular. Devido ao clima local, o encharcamento do solo não é considerado um problema nas principais áreas de cultivo do Estado de São Paulo. Excesso hídrico, durante a floração e a fixação dos frutos, afeta negativamente a produção de laranjeiras Pêra na região de Limeira - SP (PAULINO & VOLPE, 2001b).

No que se refere à qualidade dos frutos cítricos, a variabilidade, de ano para ano, no teor de sólidos solúveis nos frutos, pode ser devida às oscilações de temperatura e de chuvas nas épocas críticas do ano. Por exemplo, quanto mais cedo ocorrer a floração, mais baixas tendem a ser as temperaturas da época de crescimento inicial dos frutos, influenciando o acréscimo e o teor máximo de ácidos nos frutos. A ocorrência de chuvas excessivas afeta a qualidade dos frutos, aumentando o tamanho dos mesmos e diluindo os ácidos orgânicos e os sólidos solúveis.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido aos freqüentes problemas sanitários nos pomares de citros e, como o vento constitui-se num eficiente agente de disseminação de pragas e fitopatógenos, a utilização de quebra-ventos nas divisas dos talhões e das propriedades têm sido recomendada como uma medida preventiva viável e, pressupõe-se, tão eficaz que permite restringir o crescimento dos focos existentes, não permitindo sua rápida expansão. Além disso, a redução da velocidade do vento, dentro do pomar, evita ferimentos nas folhas, provocados pela abrasão de partículas de solo, espinhos e outras folhas, que servem como porta de entrada para infecção. A proteção com sistemas de quebra-vento também pode condicionar o microclima dentro do pomar, melhorando a polinização e a fixação dos frutos, evitando danos mecânicos em folhas, gemas, ramos, flores e frutos, reduzindo a abscisão prematura dos frutos e aumentando a produtividade. Os pomares com quebra-ventos apresentam ambiente mais favorável para o controle fitossanitário, permitindo aplicação adequada e eficiente de defensivos agrícolas. Acrescenta-se ainda que, na área protegida pelo quebra-vento, ocorre redução na evaporação, o que permite melhorias no manejo da água de irrigação. Além disso, o aumento na umidade reduz a possibilidade de ocorrência de geadas no pomar.

Embora as plantas cítricas sejam intensamente estudadas, são escassos os estudos regionais sobre o melhor aproveitamento da radiação solar, em função da trajetória aparente do Sol, assim como estudos dos sistemas de poda em pomares com espaçamentos pequenos (adensados), visando a melhor penetração de luz. Esta nova tendência de plantio causa mudanças micrometeorológicas e alterações no balanço de energia, podendo afetar o consumo de recursos naturais em pomares adensados. Há ainda a necessidade de estudos constantes e sistemáticos, das relações entre os citros e o ambiente, tanto nas regiões tradicionais quanto em novas áreas de cultivo. Tais estudos devem objetivar o entendimento dos fatores de produção, considerando os efeitos das condições ambientais (disponibilidade energética, temperatura e umidade do ar e do solo) e nutricionais, no crescimento e no desenvolvimento das plantas cítricas. Adicionalmente, pesquisas relacionadas à interação copa-porta-enxerto, e como tal interação é afetada pelo ambiente, são essenciais, haja vista que novas espécies e cultivares de porta-enxerto são frequentemente lançadas por programas de melhoramento vegetal, que visam a obtenção de materiais tolerantes e resistentes a determinados fatores bióticos ou abióticos. É importante ressaltar que os aspectos abordados são essenciais para a sustentabilidade da produção agrícola e para a manutenção da posição de destaque que o país ocupa no mercado mundial de citros. O empenho de toda a cadeia produtiva, com constante inovação e com a adoção de técnicas de cultivo e de manejo eficazes, para a manutenção da produtividade de pomares cítricos, é um ponto determinante para o sucesso da citricultura.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, M. J.; INGRAM, D. L. Heat tolerance of citrus leaves. **HortScience**, Alexandria, US, v. 23, p. 747-748, 1988.

ALBRIGO, G. Influências ambientais no desenvolvimento de frutos cítricos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS - FISILOGIA, 2., 1992, Bebedouro. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 100-105.

ALBRIGO, L. G. Climatic influences on seasonal variation of Florida orange pounds solids. **Proceedings of International Society of Horticulture Science**, Geneva, v. 2, p.15-18, 1990.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p.

ALVES JUNIOR, J. et al. Distribuição do sistema radicular de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' sob diferentes níveis de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 9, p. 270-281, 2004.

AMARAL, J. D. **Os citrinos**. Lisboa: Livraria Classica Editora, 1982. 781 p.

BARBASSO, D. V.; PEDRO JUNIOR, M. J.; PIO, R. M. Caracterização fenológica de variedades do tipo murcott em três porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2005.

BAUTISTA, D.; ROJAS, E.; AVILAN, L. Caracterización fenológica de las ramas del naranjo Valencia desde brotación hasta reposo. **Fruits**, Paris, v. 46, n. 3, p. 265-269, 1991.

BEN MECHLIA, N., CARROLL, J. J. Agroclimatic modeling for the simulation of phenology, yield and quality of crop production. I - Citrus response formulation. **International Journal of Biometereology**, Heidelberg, v. 33, p. 36-51, 1989.

BEVINGTON, K. B.; CASTLE, W. S. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature and soil water content. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, US, v. 110, p. 840-845, 1985.

BOSWELL, S. B.; NAVER, E. M.; ATKIN, D. R. Effect of tree density on fruit quality, temperature, light penetration, growth, and production of old-line "Atwood" navel orange trees. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, US, v. 107, p. 60-65, 1982.

CAMARGO, M. B. P. et al. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja 'Valência'. **Bragantia**, Campinas, v. 58, p. 171-178, 1999.

COELHO, E. F. et al. Distribuição de raízes de laranja 'Pêra' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 603-611, 2002.

DAVIES, F. S.; ALBRIGO, L. G. **Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994. 254 p.

DAVIES, F. S.; ZALMAN, G. R. Fruit quality and sampling of 'Valencia' orange trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 117, p. 86-88, 2004.

Di GIORGI, F. et al. Influência climática na produção de laranja. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 12, n. 1, p. 163-192, 1991.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 179 p.

GINESTAR, C.; CASTEL, J. R. Response of young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 71, n. 4, p. 551-559, 1996.

GREEN, G. C. Windbreaks for citrus orchards. **Farming in South Africa**, Pretoria, v. 44, p. 9-15, 1968.

HABERMANN, G. et al. CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pera' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 15, p. 79-87, 2003.

IAFFE, A.; ARRUDA, F. B. Avaliação do consumo de água em pomar de laranjas em Pindorama, SP, em período de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 407.

IDE, B. V. et al. **Zoneamento agroclimático do Estado de Santa Catarina: 2. Etapa**. Florianópolis: EMPASC, 1980. 106 p.

KIMBALL, D. A. Factors affecting the rate of maturation of citrus fruits. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Winter Haven, v. 97, p. 40-44, 1984.

- KOLLER, O. C. **Citricultura: laranja, limão e tangerina**. Porto Alegre: Editora Rigel, 1994. 446 p.
- LOMAS, J.; BURD, P. Prediction of the commencement and duration of the flowering period of citrus. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 28, p. 387-396, 1983.
- LOVATT, C. J.; STREETER, S. M.; MINTER, T. C. Phenology of flowering in *Citrus sinensis* L Osbeck, cv. Washington navel orange. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 1, p. 186-190, 1984.
- MACHADO, C. C.; COELHO, R. D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão 'Cravo' enxertado com lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 21, p. 359-380, 2000.
- MACHADO, D. F. S. P et al.. Influência da baixa temperatura noturna na fotossíntese de laranja 'Valência'. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 60., 2008, Campinas. **Anais...** Disponível em: < <http://www.sbpnet.org.br/livro/60ra/resumos/resumos/R2248-1.html>>. Acesso em: 2 fev. 2009.
- MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja 'Valência'. **Bragantia**, Campinas, v. 58, p. 217-226, 1999.
- MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, D.F., v. 40, p. 1161-1170, 2005.
- MAGALHÃES FILHO, J. R. et al. Resposta da fotossíntese à variação da temperatura radicular em laranja 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais...** Vitória: SBF, 2008. No prelo.
- MONSELISE, S. P. Citrus. In: MONSELISE, S. P. (Ed.). **Handbook of fruit set and development**. Florida: CRC Press, 1986. p. 87-108.
- MONTENEGRO, H. W. S. Clima e solo. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F. C. P. **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1980. v. 1, p. 227-239.
- MOREIRA, C. S. Clima e produtividade na citricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITRUS, 1., 1985, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FCAV, 1985. p. 13-19.
- MOSS, G. I. Influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus sinensis* L Osbeck). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 44, p. 311-320, 1969.
- MOSS, G. I. Major factors influencing flower formation and subsequent fruit-set of sweet orange In: CONGRESSO MUNDIAL DE CITRICULTURA, 1., 1973, Valencia. **Annales....** Valencia: Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agrarias, 1973. p. 215-222.
- NEVES, C. S. V. J. et al. Root distribution of rootstocks for 'Tahiti' lime. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 94-99, 2004.
- NOGUEIRA, D. J. P. O clima na citricultura. In: Citrus: tecnologia de produção. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 520, p. 3-12, 1979.
- ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: **Citricultura brasileira**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v.1, p.153-188.
- PASQUA, S. E. **Influência de algumas variáveis meteorológicas na produtividade e qualidade de frutos de laranja 'Pêra'**. 107 f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- PAULINO, S. E. P.; VOLPE, C. A. Determinação da temperatura-base para laranja Pêra em Limeira, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001a. v. 2, p. 875-876.
- PAULINO, S. E. P.; VOLPE, C. A. Relações entre a produção de laranja Pêra e algumas variáveis meteorológicas, em Limeira, SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p.130-133, 2001b.
- PIO, R. M. et al. Variedades copas. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC/Fundag, 2005. p. 37-60.
- PIRES, R. C. M. et al. Irrigação. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC/Fundag, 2005. p. 369-408.
- POHLAN, J. N.; VAZQUEZ, M.; GARCIA, A. M. E. The influence of biotic and abiotic factors on external and internal fruit quality of Cuban orange. **Hort. Abstracts**, [S.l.], v. 56, n. 3752, 1986.
- POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC/Fundag, 2005. p. 61-104.
- PRADO, A. K. S. et al. Florescimento e frutificação em laranjeiras 'Valência' com diferentes cargas de frutos e submetidas ou não à irrigação. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 173-182, 2007.
- RAMOS, R. A. **Regime térmico e relação fonte-dreno em laranjeiras: dinâmica de carboidratos, fotossíntese e crescimento**. 52 f. Dissertação (Mestrado)-Instituto Agrônomo, Campinas, 2009.
- RASMUSSEN, G. K.; PEYNADO, A.; HILGEMAN, R. The organic acid content of Valencia oranges from four locations in the United States. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Chicago, v. 89, p. 206-210, 1966.
- REUTHER, W. Climate and citrus behavior. In: REUTHER, W. **The citrus industry**. Riverside: University of California, 1973. v. 3, p. 280-337.
- REUTHER, W.; NAUER, E. M.; ROISTACHER, C. N. Some high temperature effects on citrus growth. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, US, v. 104, p. 353-356, 1979.
- RIBEIRO, R. V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas de laranja 'Valência'**. 157 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: Re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, p. 393-411, 2007.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; BRUNINI, O. Ocorrência de condições ambientais para a indução do florescimento de laranjeiras no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 28, p. 2417-253, 2006a.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F. Growth and leaf-temperature effects on photosynthesis of sweet orange seedlings infected with *Xylella fastidiosa*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 53, p. 334-340, 2004.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F. Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 670-678, 2006b.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; SANTOS, M. G. Leaf temperature in sweet orange plants under field conditions: influence of meteorological elements. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, p. 393-404, 2005.
- RIBEIRO, R. V. et al. Variação sazonal e diária do conteúdo de carboidratos em folhas de laranja 'Valência'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 10., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBFV, 2005b. 1 CD-ROM.
- RIBEIRO, R. V. et al. 'Valencia' sweet orange tree flowering evaluation under field conditions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 389-396, 2008.
- RODRIGUEZ, R. et al. Effect of shelterbelts on yields in Valencia late orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) plantations. **Centro agrícola / Universidad Central de Las Villas**, Santa Clara, v. 12, p. 71-80, 1986.
- ROLIM, G. S. et al. Previsão do número de frutos a partir da quantidade de estruturas reprodutivas em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 30, p. 48-53, 2008.

- SCHENEIDER, H. The anatomy of citrus. In: REUTHER, W. (Ed.). **The Citrus Industry**. Riverside: Univ. of California, 1973. v. 2, p. 1-29.
- SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia dos Citros**. Disponível em: <[http://ce.esalq.usp.br/aulas/lce630/Aula\\_ClimaxCitros.ppt](http://ce.esalq.usp.br/aulas/lce630/Aula_ClimaxCitros.ppt)>. Acesso em: 8 jun. 2008.
- SILVA, C. R. et al. Water relations and photosynthesis as criteria for adequate irrigation management in 'Tahiti' lime trees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, p. 415-422, 2005.
- SMILLIE, R. M.; NOTT, R. Heat injury in leaves of alpine, temperate and tropical plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 6, p. 135-141, 1979.
- SOUTHEWICK, S. M.; DAVENPORT, T. L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. **Plant Physiology**, Rockville, v. 81, p. 26-29, 1986.
- SOUZA, M. J. H. et al. Estresse hídrico e época de produção de lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, p. 31-38, 2004.
- SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E. E. **Biology of citrus**. Cambridge University Press, 1996. 230p.
- STANHILL, G. Quantifying weather-crop relations. In: LANDSBERG, J. J. (Ed.). **Environmental effects on crop physiology**. London: Academic Press, 1977. p.23-27.
- STENZEL, N. M. C. et al. Maturation curves and degree-days accumulation for fruits of Folha Murcha orange trees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 3, p.219-225, 2006.
- TEÓFILO SOBRINHO, J. et al. Adensamento de plantio para laranja 'Hamlin' sobre limoeiro 'Cravo' em Cordeirópolis (SP). **Laranja**, Cordeirópolis, v. 23, p. 439-452, 2002.
- TUBELIS, A.; SALIBE, A. A. Produção de laranja 'Hamlin' sobre porta-enxerto de tangerina 'Sunki' e as precipitações mensais do altiplano de Botucatu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 7, p. 787-792, 1989.
- TUBELIS, A.; SALIBE, A. A. Relações entre a produção de laranja 'Hamlin' sobre porta-enxerto de laranja 'Caipira' e as precipitações mensais do altiplano de Botucatu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, p. 239-246, 1988.
- TUBELIS, A.; SALIBE, A. A. Relações entre a produção de laranja 'Hamlin' sobre porta-enxerto de limoeiro 'Rugoso da Flórida' e as precipitações mensais do altiplano de Botucatu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 1, p. 207-219, 1991.
- VIEIRA, D. B.; RIBEIRO T. A. Estudos de parâmetros básicos de irrigação do limão 'Tahiti' (*Citrus limonia* Osbeck) sob micro-aspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993, v. 4, p. 232-239.
- VOLPE, C. A. Fenologia de citros. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS-FISIOLOGIA, 2., 1992, Bebedouro. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 107-120.
- VOLPE, C. A. **Relações entre os principais indicadores de qualidade de frutos de laranjas Valência e Natal e algumas variáveis meteorológicas**. 107 f. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.
- VOLPE, C. A.; SCHÖFFEL, E. R. Relação entre a maturação de frutos de laranja Pêra e graus-dia, em pomar protegido por quebra-vento de *pinus*, em condições tropicais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v. 15, p. 84-94, 2007.
- VOLPE, C. A.; SCHÖFFEL, E. R.; BARBOSA, J. C. Influência de algumas variáveis meteorológicas sobre a qualidade dos frutos de laranjeiras 'Valência' e 'Natal'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 85-94, 2000.
- WILLIAMS, R. R.; WILSON, D. **Toward regulated cropping**. London: Grower Books, 1970. 34 p.



# COQUEIRO

Foto: Alessandro Paiva







## 1. INTRODUÇÃO

O coqueiro, *Cocos nucifera* L., é a única espécie do gênero *Cocos*, tribo Cocoeae, família Arecaceae, ordem Arecales, classe Monocotiledoneae (Lorenzi et al., 2004; Souza & Lorenzi, 2005). Esta espécie é composta de duas variedades, ou seja, Gigante e Anã. A variedade Anã subdivide-se em três subvariedades, isto é, anã verde, anã vermelha e anã amarela (Aragão et al., 2003).

Existem controvérsias quanto à origem do coqueiro. Contudo, a teoria mais aceita é que tal espécie é originária do Sudeste Asiático (Purseglove, 1972). Devido à sua adaptabilidade a diferentes condições ecológicas, está distribuída principalmente no litoral, mas também no interior de quase todos os países tropicais do mundo. No Brasil, a variedade gigante foi introduzida em 1553, sendo as anãs introduzidas a partir de 1925 (Siqueira, et al., 2002).

No mundo, a área plantada com coqueiro é de, aproximadamente, 11 milhões de hectares, com uma produção anual de 55 milhões de toneladas (Benassi, 2006), sendo os maiores produtores as Filipinas (30%) e a Indonésia (28%) (Agriannual, 2008).

No Brasil, existe uma área plantada de 273 mil hectares, com uma produção de 1,9 bilhões de frutos (Agriannual, 2008), que representa 2% da produção mundial (Cuenca & Siqueira, 2003). Deste total, cerca de 82% estão na Região Nordeste, 9 % na Região Norte, 7 % na Região Sudeste e 1 % na Região Centro-oeste (Agriannual, 2008). Do total da produção brasileira, o Nordeste contribui com 69%, seguido pelo Sudeste, com 15 %, pela Região Norte, com 12 % e, pela Região Centro-oeste, com 3 % (Agriannual, 2008).

Nos últimos 10 anos, tem ocorrido um processo de interiorização da cultura, devido à crescente demanda do fruto verde para o consumo da água e da boa adaptação da planta nos perímetros irrigados da região semi-árida, a exemplo de Juazeiro, BA e Petrolina, PE. Nesse mesmo período, tem-se observado, também, a expansão das áreas plantadas para o Sudeste e o Centro-oeste do Brasil.

Embora todas as partes do coqueiro sejam aproveitadas, é do fruto que se obtém os principais produtos. O albúmen sólido (polpa) e a água do coco verde são consumidos '*in natura*'. Do fruto maduro, a polpa é utilizada na culinária e, industrialmente, na extração de óleo, na produção de margarina, sabão, detergente, cosméticos, etc.

O teor de óleo no albúmen pode variar de 65 a 72% da matéria seca, dependendo do material genético, das condições ambientais e dos tratamentos culturais (Nuce de Lamote & Rognon, 1977; Ochs & Ollagnier, 1977; Akpan et al., 2006). Fontes & Wanderlei (2006), considerando um plantio de coqueiros híbridos, com 160 plantas/ha e estimando uma produção de 100 frutos/planta/ano, obtiveram um rendimento aproximado 1.481 kg de óleo/ha. Valores mais elevados foram encontrados por Ochs & Ollagnier (1977). Desse modo, o coqueiro também pode ser considerado uma oleaginosa com grande potencial para produção de biodiesel.

A cultura do coco desempenha importante papel tanto no aspecto social, pela fixação do homem no campo e na geração de emprego e renda, quanto no aspecto ambiental, por tornar possível a criação de sistemas sustentáveis de cultivo, nos diferentes agroecossistemas (Castro, 2007). O coqueiro da variedade gigante constitui fonte de renda para mais de 220 mil produtores envolvidos com a cultura, dos quais, mais de 85% são pequenos produtores, que exploram propriedades com áreas inferiores a 10 hectares, localizadas, principalmente, na região litorânea (Cuenca, 2000).

---

1- M.Sc., Pesquisador, EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros. Av. Beira Mar, 3250, C.P. 44, CEP 49025-040, Aracaju, SE. E-mail: edson@cpatc.embrapa.br  
2- M.Sc., ex-bolsista Embrapa. E-mail: cintia\_pas@hotmail.com  
3- Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros. E-mail: anagama@cpatc.embrapa.br  
4- Dr., Pesquisador EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros. E-mail: nogueira@cpatc.embrapa.br

O coqueiro é uma das culturas de maior importância socioeconômica para as regiões litorâneas do Nordeste, devido a fácil adaptação a essas condições ambientais e por produzir continuamente, gerando emprego durante todo o ano. Seu cultivo favorece tanto a consorciação com outras culturas anuais e perenes quanto a associação com animais, propiciando mais uma fonte de renda para o produtor, sendo opção de cultivo, desde aqueles de subsistência, com mínimo uso de insumos, até os grandes empreendimentos rurais, que utilizam todas as tecnologias disponíveis. A adaptação aos solos arenosos da costa brasileira permitiu o surgimento de uma classe produtora, ocupando um ecossistema com poucas possibilidades de outras explorações comerciais, cuja cadeia produtiva é muito diversificada e de grande significado social (Siqueira et al., 2002).

O coco também se tornou uma alternativa agrícola para as Regiões Sul e Sudeste, por propiciar receita durante todo o ano, por apresentar um mercado crescente e estar próximo aos grandes centros consumidores (SILVA, 2001).

O desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do coqueiro difere entre as variedades. O coqueiro gigante é uma planta rústica, de crescimento rápido, de longa fase vegetativa, podendo emitir de 12 a 14 folhas no período de um ano, chegando a atingir uma altura de 30 m. O coqueiro anão é uma variedade que apresenta maiores exigências de clima e solo, possui crescimento lento, fase vegetativa mais curta, podendo emitir até 18 folhas por ano, chegando a atingir 10 m de altura.

As variedades de coqueiro não estão reunidas em grupos de maturação definidos, mas é de conhecimento que a variedade anã é precoce, iniciando a sua produção, em média, com dois a três anos, enquanto a variedade gigante inicia a produção com cinco a sete anos.

### 1.1 Fenologia

Os estudos em fenologia revelam que as fases vegetativa e reprodutiva estão associadas aos fatores meteorológicos, sendo que a disponibilidade de água e a temperatura são os fatores determinantes do desenvolvimento anual das plantas (Morellato et al., 1990).

Sementes colhidas completamente maduras, com 11 a 12 meses após a abertura da inflorescência e semeadas em condições satisfatórias de umidade do solo e de temperatura do ar, iniciam a germinação entre 40 e 60 dias, em coqueiros anões e, entre 50 e 90 dias, em gigantes. Sementes não germinadas após estes períodos devem ser descartadas, devido ao risco de originarem plantas com crescimento retardado e com baixa produtividade.

O caule do coqueiro não apresenta crescimento secundário em espessura, devido à ausência de tecido meristemático. O crescimento em altura depende da variedade, das condições de clima, solo e cultivo, apresentando-se mais rápido na idade jovem (Child, 1974; Fremond et al., 1975). Na figura 1 pode-se observar o crescimento em altura e a ausência de crescimento em espessura, para quatro cultivares de coqueiro anão, com oito anos de idade, durante um período de 15 meses, nas condições do Nordeste do Brasil (Castro, 2007). Pode-se observar, também, que, embora todas sejam cultivares anãs, o Anão Amarelo da Malásia e o Anão Vermelho da Malásia possuem estipe mais alta e espessa que o Anão Vermelho de Camarões e o Anão Verde de Jiqui. Apesar de não apresentar crescimento em espessura, o diâmetro do caule pode sofrer modificações devido a alterações ambientais, principalmente àquelas relacionadas à disponibilidade hídrica, drenagem inadequada e deficiência mineral, decorrentes da variação no tamanho de suas células.

A emissão de folhas é controlada pela idade, pelo vigor da planta e pelas condições do meio ambiente (Persley, 1992). A quantidade de folhas emitidas reflete-se diretamente no crescimento e na produção do coqueiro, uma vez que, a cada folha emitida, aumenta a capacidade fotossintética da planta, além de existir, na axila de cada folha emitida, um primórdio floral que se transformará numa inflorescência (Tabela 1). Condições favoráveis de precipitação, temperatura e umidade atmosférica, no período de desenvolvimento do primórdio foliar, que se diferencia cerca de dois anos antes do aparecimento da lança, (Fremond et al., 1975) favorecem a emissão de novas folhas. Sob condições de estiagem prolongada, a redução no número de folhas do coqueiro é uma consequência da redução, tanto do ritmo de emissão foliar quanto do tempo de vida da folha (Passos, 1998b).

O coqueiro é uma planta monóica, produzindo flores femininas e masculinas, separadamente, na

mesma árvore. Antes da floração, a inflorescência tem a forma de uma bráctea oblonga (espata). No interior da espata, encontram-se a espiga e as flores. Normalmente, cerca de 70% das flores femininas são fecundadas nas duas primeiras semanas após a emergência da inflorescência. O número e a porcentagem de fecundação das flores femininas dependem de fatores genéticos, climáticos, patológicos e nutricionais (Child, 1974). Após a fecundação das flores, inicia-se o processo de desenvolvimento do fruto. As etapas do desenvolvimento das flores e, posteriormente, dos frutos estão descritas na tabela 1.

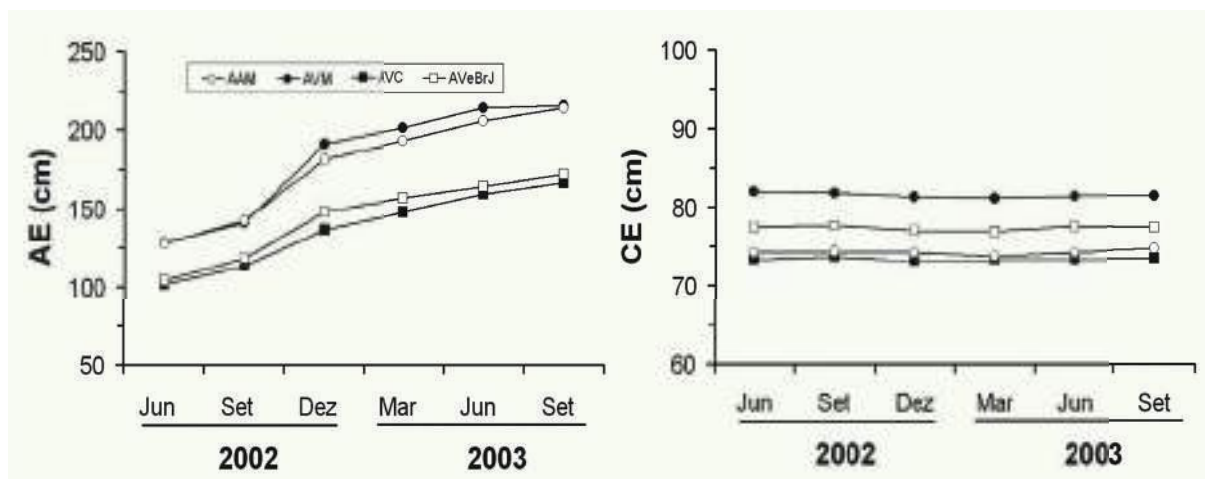


Figura 1. Crescimento em altura (AE) e circunferência (CE) do estipe do Anão Amarelo da Malásia (AAM), Anão Vermelho da Malásia (AVM), Anão Vermelho de Camarões (AVC) e Anão Verde de Jiqui (AVeJ), com 8 anos de idade, durante o período de junho de 2002 a setembro de 2003, no Platô de Neópolis, SE.

Da mesma forma que o primórdio foliar, o esboço floral depende das condições climáticas no período de sua formação, que ocorre cerca de 33 meses antes da abertura da inflorescência (Tabela 1). Condições hídricas e nutricionais deficientes prejudicam o desenvolvimento das flores, ocorrendo o abortamento das mesmas.

O desenvolvimento do fruto também sofre influência das condições meteorológicas. No Nordeste do Brasil, os frutos, entre cinco e sete meses, estão na idade ideal para serem colhidos para o consumo da água, atingindo a maturação entre 11 e 12 meses. Tem-se observado que nos meses mais frios no noroeste de São Paulo, os frutos atingem o maior volume de água e o sabor mais agradável somente entre sete e oito meses.

**Tabela 1. Escala fenológica das fases vegetativa e reprodutivas de um coqueiro.**

Fase	Estádio	Descrição
Germinação da semente	Desenvolvimento embrionário	No momento da germinação, a parte média do embrião se alonga, dando origem à plântula, enquanto no interior da noz desenvolve-se uma massa bulbosa (o haustório), que absorve progressivamente o albúmen da noz e nutre a plântula jovem. O haustório cresce rapidamente, ocupando, em menos de cinco semanas, a cavidade interna da semente, inicialmente cheia de água.
	Crescimento das raízes	Um mês após a germinação, as raízes estão aptas a absorverem água e nutrientes do solo.
Desenvolvimento da plântula (Fase jovem)	Crescimento da parte aérea	Quatro meses após a germinação, a plântula está com três a quatro folhas vivas, 15 a 20 cm de altura, mas ainda é nutrida principalmente pelas reservas do endosperma, devido à baixa capacidade fotossintética de suas folhas. Com cerca de dez meses, o albúmen é completamente absorvido e o haustório ocupa toda a cavidade.

Fase	Estádio	Descrição
Desenvolvimento da folha (Fase adulta)	Fase juvenil	Dura aproximadamente 2 anos. Ao final dessa fase haverá um órgão com, aproximadamente, 10 cm de comprimento.
	Fase de alongação rápida	Dura de 4 a 8 meses, a depender da época do ano. Durante esta fase, a folha alonga-se até vários metros.
	Fase adulta	Nessa fase, cessa o crescimento, primeiro do limbo, depois do pecíolo. Esta fase dura até a morte da folha, de 24 a 30 meses.
Desenvolvimento da inflorescência (Fase reprodutiva)	Aparecimento do 1º esboço floral	O 1º esboço floral forma-se pouco tempo depois do esboço foliar, aproximadamente três meses.
	Diferenciação da espata	Ocorre do 14º ao 20º mês.
	Esboço de flores femininas	Acontece a diferenciação da flor feminina. Essa fase ocorre por volta do 26º mês.
	Esboço de flores masculinas	A diferenciação das flores masculinas ocorre um mês depois que a das flores femininas.
	Abertura da inflorescência	A inflorescência se abre por volta do 37º mês, quando a folha já está na fase adulta.
Desenvolvimento do fruto (Fase reprodutiva)	Fase líquida	O enchimento do saco embrionário, que se converterá na cavidade central, ocorre pouco a pouco, depois da fecundação.
	Fase gelatinosa	O albúmen, originalmente gelatinoso, solidifica-se mediante a construção de membranas celulósicas, que deixam o tegumento. Este depósito ocorre no lado oposto ao ponto de fixação (opõe-se ao embrião) e estende-se progressivamente por toda a cavidade.
	Crescimento da noz	O crescimento do volume da noz termina no momento em que começa a fase de organização do albúmen.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

Apesar de o coqueiro ser cultivado em diferentes tipos de solo, alguns aspectos devem ser observados como estratégia para obtenção de uma boa produtividade. Segundo Fontes et al. (1998), os solos adequados para essa cultura devem ser bem drenados e sem impedimento físico ou químico que dificultem o crescimento do sistema radicular até 1m de profundidade.

Durante os períodos com déficit hídrico, deve-se considerar a utilização de um sistema de irrigação, levando-se em conta que o crescimento e a produção são contínuos durante todo o ano. Além disso, deve-se evitar a presença de gramíneas em um raio de um a dois metros em torno do caule. As gramíneas competem, consideravelmente, por água e nutrientes com o coqueiro.

As melhores condições ambientais para o bom desenvolvimento do coqueiro caracterizam-se por um clima quente e úmido, sem grandes variações diárias de temperatura. As chuvas devem ser bem distribuídas durante o ano, o que não ocorre na maior parte das regiões produtoras, sendo que na planície litorânea a proximidade do lençol freático, entre 1 e 2 m, ameniza a deficiência hídrica durante os meses de estiagem (Passos, 1998a). Sob condições de temperaturas elevadas e baixa umidade atmosférica, a perda de água pela transpiração não é compensada pela absorção radicular, o que reduz a condutância estomática, causando estresse hídrico na planta e consequente redução na atividade fotossintética (Passos et al., 1999).

As condições agrometeorológicas das ecorregiões produtoras de coco interferem de diferentes modos no desenvolvimento e produtividade do coqueiro, dependendo da região onde é cultivado. Longos períodos de estiagem no Nordeste do Brasil, por exemplo, constituem-se no principal fator limitante do crescimento e produção dessa planta, onde as altas temperaturas e intensidades de luz provocam elevadas taxas de evapotranspiração que, associadas à baixa disponibilidade de água no solo, provocam déficits hídricos estacionais (Passos, 1998a). Na maior parte da Região Norte, não há limitação hídrica, no entanto, a elevada umidade atmosférica, durante a maior parte do ano, compromete o estado fitossanitário dos coqueirais. Nas Regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste, as maiores limitações são as baixas temperaturas.

Em regiões onde o nível do lençol freático encontra-se próximo à superfície, permanecendo praticamente

constante, o coqueiro apresenta maior produtividade e menor oscilação da produção anual de frutos. Por outro lado, em regiões onde o lençol aprofunda-se bastante durante o período seco, a produtividade é baixa e o número de frutos por colheita varia bastante (Fontes et al., 1998). Até três meses de idade, a perda é maior por serem os frutos mais susceptíveis às adversidades climáticas, principalmente ao estresse hídrico, podendo ocorrer mesmo em plantios irrigados, devido à elevada demanda evaporativa nos meses mais secos e, também, por serem mais susceptíveis ao ataque de pragas (Castro, 2007).

### 2.1 Disponibilidade hídrica

A deficiência hídrica, causada pela irregularidade na distribuição das chuvas, é o principal fator limitante ao crescimento e produção do coqueiro. Esta palmeira possui diversos mecanismos morfológicos e fisiológicos que permitem tolerar situações de estresse hídrico em diversos níveis, mas com alguma redução no desenvolvimento e na produção.

A disponibilidade hídrica para o coqueiro varia em função do regime local de chuva que, em geral e de forma mais acentuada no Nordeste, apresenta grande variabilidade temporal e espacial, devido à variação no comportamento dos diferentes sistemas atmosféricos que atuam na região.

A média anual da precipitação, nas regiões produtoras de coco no Nordeste, gira em torno de 1500 mm, concentrada em cinco a seis meses do ano. Localidades que superam esta média, com distribuição anual mais uniforme, situam-se ao sul da Bahia, superando acumulados anuais de 1600 mm. Em anos normais, sem eventos intensos de El Niño ou La Nina, ou de anomalias de temperaturas do Oceano Atlântico, o período mais chuvoso no litoral do Nordeste ocorre de abril a agosto, cessando em setembro, na costa leste, onde, nos meses de dezembro a abril, é normal ocorrerem precipitações mensais inferiores a 50 mm, durante três meses consecutivos, condição muito prejudicial ao desenvolvimento do coqueiro.

Para o município de Aracaju (Figura 2), após o término da quadra mais chuvosa (abril a julho), a precipitação não atende à demanda hídrica da cultura, que passa a ser suplementada pelo lençol freático, de agosto a setembro podendo, de acordo com a idade da planta e das características físico-hídricas dos solos (solos rasos com drenagem deficientes), ocorrer deficiência hídrica em, pelo menos, cinco meses do ano.

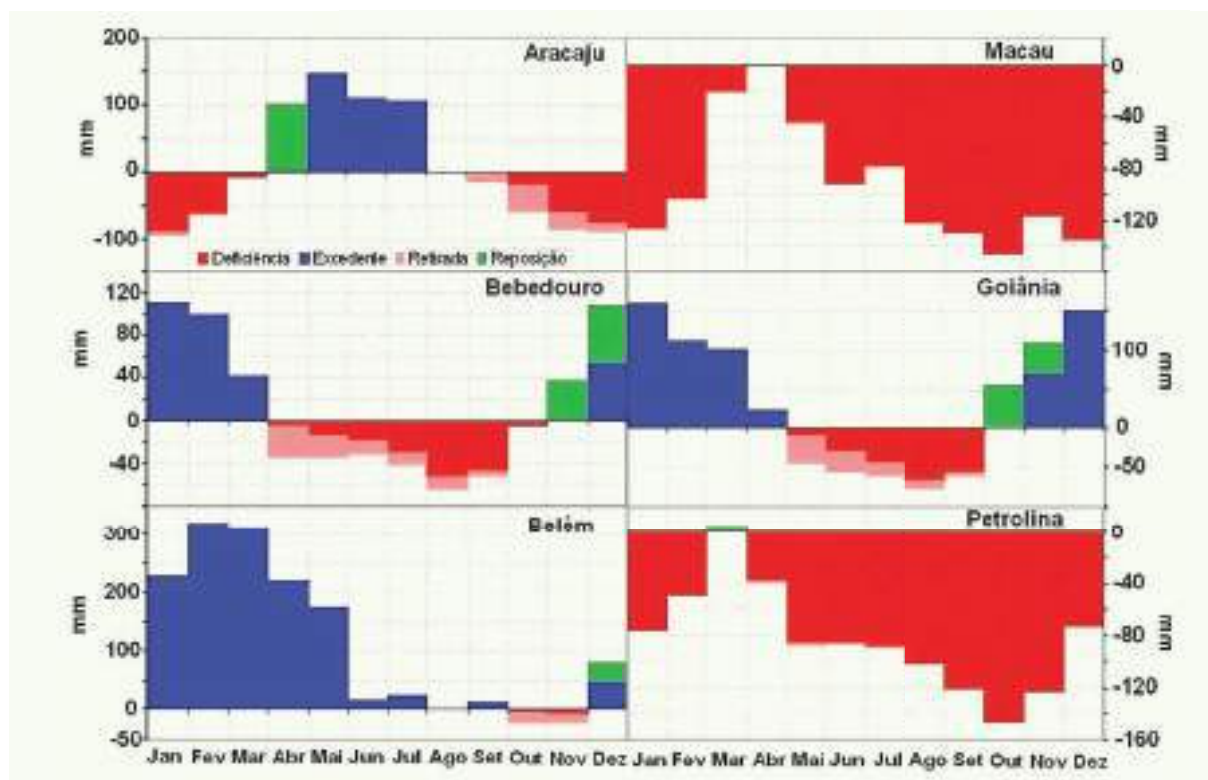


Figura 2. Balanço hídrico climatológico para os municípios de Aracaju, SE, Macau, RN, Bebedouro, SP, Goiânia, GO, Belém, PA e Petrolina, PE. Fonte: [www.bdclima.cnpem.embrapa.br](http://www.bdclima.cnpem.embrapa.br)

Ao contrário do litoral leste, no litoral norte do Nordeste o clima é menos favorável devido à deficiência hídrica durante quase todo o ano, a exemplo de Macau, no Rio Grande do Norte (Figura 2), sendo indispensável a irrigação, tanto na fase jovem quanto na fase adulta, para garantir produtividade satisfatória. Embora no litoral norte do Ceará não ocorra deficiência hídrica entre os meses de fevereiro e maio, os longos períodos com baixa precipitação comprometem, de forma mais acentuada, o desenvolvimento do coqueiro, comparativamente ao litoral leste.

Nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, ao contrário do Nordeste, as maiores precipitações ocorrem nos meses mais quentes do verão (Figura 2), proporcionando elevada atividade fotossintética ao coqueiro. Os meses mais frios de inverno (maio a agosto) apresentam menor pluviosidade, ocorrendo deficiência hídrica nesse período, porém de menor intensidade que na Região Nordeste. No entanto, a baixa umidade atmosférica nos meses mais frios, associada à menor disponibilidade de água no solo, promove uma redução no potencial hídrico da folha e na fotossíntese do coqueiro.

Na Região Norte, as maiores precipitações ocorrem a partir de dezembro, até maio. Para o município de Belém (Figura 2), a precipitação anual é de 2800 mm, sem ocorrência de deficiência hídrica durante quase todo o ano, semelhante à região sul da Bahia, mais especificamente, aos municípios próximos a Ilhéus e Canavieiras, que não apresentam deficiência hídrica. Todavia, a elevada umidade atmosférica, superior a 80% durante a maior parte do ano, favorece a ocorrência de problemas fitossanitários na cultura.

A expansão do cultivo comercial do coqueiro anão, na região semi-árida do Nordeste, ocorreu principalmente nos perímetros irrigados dos pólos produtores de frutas tropicais, a exemplo de Petrolina, PE, Juazeiro, BA, e regiões circunvizinhas. Neste ecossistema, a precipitação anual pode ser inferior a 600 mm, com chuvas concentradas em apenas quatro meses. A umidade atmosférica mais baixa que no litoral e as altas temperaturas diurnas, associadas à baixa precipitação, proporcionam um déficit hídrico elevado durante a maior parte do ano (Figura 2). No entanto, o uso adequado da irrigação tem contribuído para que os plantios comerciais apresentem bom aspecto vegetativo e reprodutivo. Outro aspecto importante é a proximidade do rio São Francisco, com os sistemas de irrigação por microaspersão, que impedem uma demasiada redução da umidade relativa do ar, mantendo um nível favorável ao coqueiro, por reduzir os problemas fitossanitários, comuns em locais mais úmidos, sem, contudo, comprometer demasiadamente o estado hídrico do coqueiro.

De acordo com o zoneamento de risco climático (Silva et al., 2008), para o coqueiro no Nordeste, a deficiência hídrica e os altos valores da umidade relativa do ar, em algumas localidades, são os principais riscos climáticos para a produção comercial da cultura.

As respostas das plantas submetidas a condições de déficits hídricos são observadas, posteriormente, na forma de ausência de inflorescências na axila das folhas, nos cachos com pequeno número de frutos e no afinamento do caule, durante o período de seca prolongada. Como a inflorescência inicia seu desenvolvimento 16 meses antes de sua abertura, uma estiagem prolongada pode destruir os primórdios florais, causando abortamento da inflorescência e, conseqüentemente, redução na produção de frutos, 28 a 30 meses após a estiagem severa (Passos, 1998a).

Uma correlação positiva entre a chuva, durante um período de seis meses, e a quantidade de copra (albúmen sólido desidratado, a 6% de umidade) por fruto, 12 meses mais tarde, foi encontrada por Coomans (1975). Nas condições da planície litorânea, que se estende do Ceará até o norte do Rio de Janeiro, a proximidade do lençol freático, quando situado entre um e três metros, ameniza os efeitos da estiagem prolongada, ao ser atingido pelas raízes mais profundas, ainda que tais raízes sejam menos absorventes. As variedades de coqueiro anão são mais sensíveis a tais condições ambientais, por terem o sistema radicular menos profundo (Cintra et al., 1992, Cintra et al., 1993) e por manterem a transpiração mais elevada que os gigantes, por maior período de tempo durante o dia (Passos et al., 2005, Prado et al., 2001). Nos perímetros irrigados deve-se atentar, especialmente, para o tipo e a frequência da irrigação utilizada, para evitar os déficits hídricos diários. Nessas condições, é necessário monitorar a demanda hídrica diária da cultura, que é função das características físico-hídricas dos solos, da idade da planta e da demanda atmosférica local.

Somente com informações locais, específicas para cada ambiente e condições de cultivo, será possível promover uma condução adequada da irrigação, com otimização do uso da água. Para isso, o manejo adequado do coqueiral exige o monitoramento diário da evapotranspiração da cultura e da umidade do solo.

A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser estimada a partir da evapotranspiração potencial ou de referência (ETo), podendo esta ser estimada a partir de dados meteorológicos locais ou a partir de medidas de evaporação da água em um tanque classe “A”. A relação matemática que permite a estimativa da ETc é:

$$ETc = ETo \cdot kc \quad (1)$$

sendo kc o coeficiente de cultivo.

A ETo estimada pelo tanque classe “A” é obtida pela relação:

$$ETo = ECA \cdot kp \quad (2)$$

sendo ECA a evaporação do tanque classe “A”, medida em altura de água evaporada (mm), num período de um dia ou superior, e kp o coeficiente de tanque, que varia com as condições de vento, umidade relativa e posição do tanque na área em que se acha instalado, denominada de bordadura.

$$kp = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(F) - 0,000376 \cdot U + 0,0045 \cdot UR \quad (3)$$

sendo F o raio médio da área da bordadura, ao redor do tanque (m), U a velocidade do vento (km. dia<sup>-1</sup>) e UR a umidade relativa do ar, média diária (%).

Valores de kc para o coqueiro variam de acordo com o aumento de área foliar ou com a idade da planta (Tabela 2). Um valor médio para as plantas de coqueiro anão adulto é de 0,80.

**Tabela 2. Valores de kc utilizados para o manejo da irrigação na cultura do coqueiro anão verde, visando uma produtividade média de 240 frutos/planta/ano e com volume de água de coco, por fruto, maior que 450 mL.**

Fase da cultura (meses)	Kc da cultura
0 – 6	0,20 a 0,25
6 – 12	0,40 a 0,50
12 – 24	0,60 a 0,70
> 24	0,85 a 0,95

Em pomares com irrigação localizada não ocorre perda de água por evaporação em toda a área disponibilizada para a planta. Neste caso, o cálculo do volume da água necessária para atender a demanda da cultura (ETc), na área do projeto, deve considerar, não apenas o coeficiente de cultivo (kc), mas também o coeficiente de redução ou coeficiente de cobertura (Kr), que é uma função do índice de cobertura (Cs), representado pela relação entre a área da projeção da copa e a área total por planta.

O índice de cobertura pode ser calculado pela equação:

$$Cs = (\pi D^2/4) / (Ep \times Ef) \quad (4)$$

em que, D é o diâmetro médio da copa (m); Ep é o espaçamento entre plantas (m); Ef é o espaçamento entre fileiras (m).



O coeficiente de redução ou coeficiente de cobertura (Kr) pode ser calculado pela equação (Carvalho et al. 2007):

$$Kr = 1,1451 \cdot Cs + 0,0273 \quad (4)$$

Portanto, o volume de água necessária para atender à demanda hídrica da cultura deve ser calculado utilizando a seguinte equação:

$$V_{\text{líquido}} = ETc = ETo \cdot Kc \cdot kr \cdot A \quad (6)$$

$$V_{\text{bruto}} = V_{\text{líquido}} / Ea \quad (7)$$

em que  $V_{\text{líquido}}$  é a quantidade de água necessária, ou volume líquido (L. dia<sup>-1</sup>); ETo é a evapotranspiração potencial ou de referência (em mm.dia<sup>-1</sup>); kc o coeficiente de cultura = 0,80 para o coqueiro anão adulto; kr o coeficiente de redução da evapotranspiração, em percentagem de sombreamento do solo pela planta, em decimais; A é a área espacialmente disponível para a planta (em m<sup>2</sup>);  $V_{\text{bruto}}$  é a quantidade de água a ser aplicada por planta ou volume bruto (L.pl. dia<sup>-1</sup>); Ea é a eficiência do sistema de irrigação (%).

**Exemplo:** Cálculo do volume de água a ser aplicado na cultura do coqueiro adulto. Dados: configuração de plantio = 7,5 m x 7,5 m x 7,5 m; ETo (diária) = 5 mm/dia; kc = 0,80; kr = 0,70; A = 48,8 m<sup>2</sup>; Ea = 90%.

$$A) V_{\text{líquido}} = ETc = 5 \text{ mm. dia}^{-1} \times 0,80 \times 0,70 \times 48,8 \text{ m}^2 = 137 \text{ L.planta.dia}^{-1}$$

$$B) V_{\text{bruto}} = V_{\text{líquido}} / Ea = 137 / 0,90 = 152,2 \text{ L.planta.dia}^{-1}.$$

Para o manejo diário da irrigação, o usuário deve utilizar a Equação 6 e os valores da ETo referentes ao dia anterior ao da aplicação da água.

Caso a propriedade não disponha de uma estação meteorológica que permita a obtenção dos valores diários da ETo, a aquisição de um tanque classe “A” é outra alternativa também viável. Neste caso, é preciso estar atento aos procedimentos de instalação do tanque e à leitura da água evaporada. Embora seja um procedimento simples, recomenda-se um treinamento adequado para o técnico responsável.

Quando utilizado o método do tanque classe “A”, para fins práticos, pode-se utilizar valores de  $k_p = 0,60$  ou  $0,65$  para regiões úmidas e,  $k_p = 0,80$  ou  $0,85$ , para regiões semi-áridas. Porém, os valores de  $k_p$  variam em função do microclima da região. Após a estimativa da ETo por este método, a quantidade de água necessária ou volume líquido (L.dia<sup>-1</sup>) e o volume bruto deverão ser estimados pelas equações 6 e 7.

Dentre os métodos de irrigação utilizados no coqueiro, a irrigação localizada é a mais recomendada. Se o sistema utilizado for *microaspersão*, sugere-se utilizar dois microaspersores, em lados opostos da planta. Esta prática possibilita uma distribuição de água mais uniforme para todo o sistema radicular. Quando o sistema utilizado for o *gotejamento*, recomenda-se o uso do anel auxiliar (pedaço de mangueira conectado à linha lateral), formando um círculo em torno do caule da planta, onde são distribuídos os emissores ou gotejadores.

Em regiões de clima mais úmido, o sistema de gotejo propicia um microclima menos favorável à incidência de doenças, quando comparado com o de microaspersão, que proporciona um incremento da umidade do ar no interior da cultura.

Para que a umidade do solo permaneça próxima à capacidade de campo e para evitar perdas excessivas de água por percolação profunda e por evaporação, bem como perdas de nutrientes por lixiviação, a frequência de irrigação deve ser diária, principalmente em solos com

baixa capacidade de retenção de água (areias quartzosas e areia-franca), e em períodos de alta demanda atmosférica.

Para superar estresse e redução da produção na cultura do coqueiro, em regiões tropicais e subtropicais, causados por deficiência hídrica, existem informações parciais que podem ser utilizadas. Jayakumar et al. (1988) quantificaram o uso consuntivo do coqueiro de 6 anos de idade (índice de área foliar de 2,4), da ordem de 3,3 mm/dia, com variação de 2,7 a 4,1 mm/dia. Os coeficientes de cultivo atingiram valores de 0,54 (método de Penman) a 0,73 (método do Tanque Classe A).

Azevedo et al. (2006) encontraram valores de evapotranspiração, variando de 2,5 a 3,2 mm/dia, em função da lâmina de água aplicada, de 50 L/dia a 150 L/dia, respectivamente, sendo que a evapotranspiração acumulada anual variou de 900 a 1100 mm. Miranda et al. (2007) determinaram a evapotranspiração do coqueiro anão verde, que variou de 0,52 mm/dia, aos 11 meses de idade, até 5,01 mm/dia, aos 36 meses. Na fase de crescimento vegetativo (até 23 meses), os valores de kc variaram de 0,63 até 1,00. Valores mais altos de kc ocorrem na fase de florescimento e desenvolvimento dos frutos.

## 2.2 Temperatura

Climas quentes, sem grandes variações diurnas de temperatura, são altamente favoráveis ao cultivo do coqueiro, como ocorre no litoral e também nos perímetros irrigados mais para o interior do Nordeste do Brasil, a exemplo das regiões semi-áridas de Pernambuco e da Bahia.

Temperaturas médias anuais de 27°C, com oscilações diurnas de até 7°C, são consideradas ótimas para o crescimento e a produção do coqueiro (Child, 1974). Nas condições tropicais, e mesmo subtropicais do Brasil, as temperaturas mais elevadas são toleradas, sendo prejudiciais quando coincidem com baixa umidade atmosférica, provocando déficits mais elevados de pressão de vapor, fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, redução da fotossíntese líquida (Figura 3).

Temperaturas inferiores a 15°C provocam redução no crescimento e abortamento de flores (Fremond et al., 1975). Em estudos desenvolvidos na Região Sudeste do Brasil, em coqueiros adultos irrigados, com bom aspecto vegetativo e boa produtividade, observou-se acentuada redução da fotossíntese nos meses mais frios do ano, quando a temperatura atingia valores inferiores a 16°C, mesmo às 11:00 h, quando a radiação fotossinteticamente ativa achava-se em torno de 1000  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , o suficiente para manter os estômatos do coqueiro completamente abertos.

## 2.3 Radiação solar

Em todas as regiões cultivadas com coqueiro no Brasil, a radiação fotossinteticamente ativa é satisfatória, com valores superiores a 500  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  durante a maior parte do dia, com exceção dos meses chuvosos, quando a radiação permanece abaixo deste valor por maior tempo ao longo do dia, devido à maior cobertura de nuvens (Figura 3). Essa redução na radiação reduz a fotossíntese do coqueiro, devido ao fechamento parcial dos estômatos, mesmo sob condições de boa disponibilidade hídrica (Passos et al., 2005). Um exemplo da resposta do coqueiro à baixa radiação solar é observado no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, onde a forte nebulosidade, durante alguns períodos do ano, reduz a frutificação. Uma relação positiva entre a qualidade de fruto e a irradiância, nos últimos meses de maturação do fruto, foi encontrada por Ziller (1960).

A elevada radiação solar também pode atuar negativamente quando favorece o estresse hídrico do coqueiro, a exemplo da estação seca no verão do Nordeste brasileiro, entre o norte da Bahia e o Rio Grande do Norte (Figura 3).

Trabalhos desenvolvidos nas condições do Nordeste do Brasil mostraram que os valores da transpiração e da fotossíntese do coqueiro foram condicionados pela radiação solar, durante o curso diurno da estação chuvosa e pela disponibilidade hídrica na estação seca (Prado et al., 2001; Passos et al., 2005).

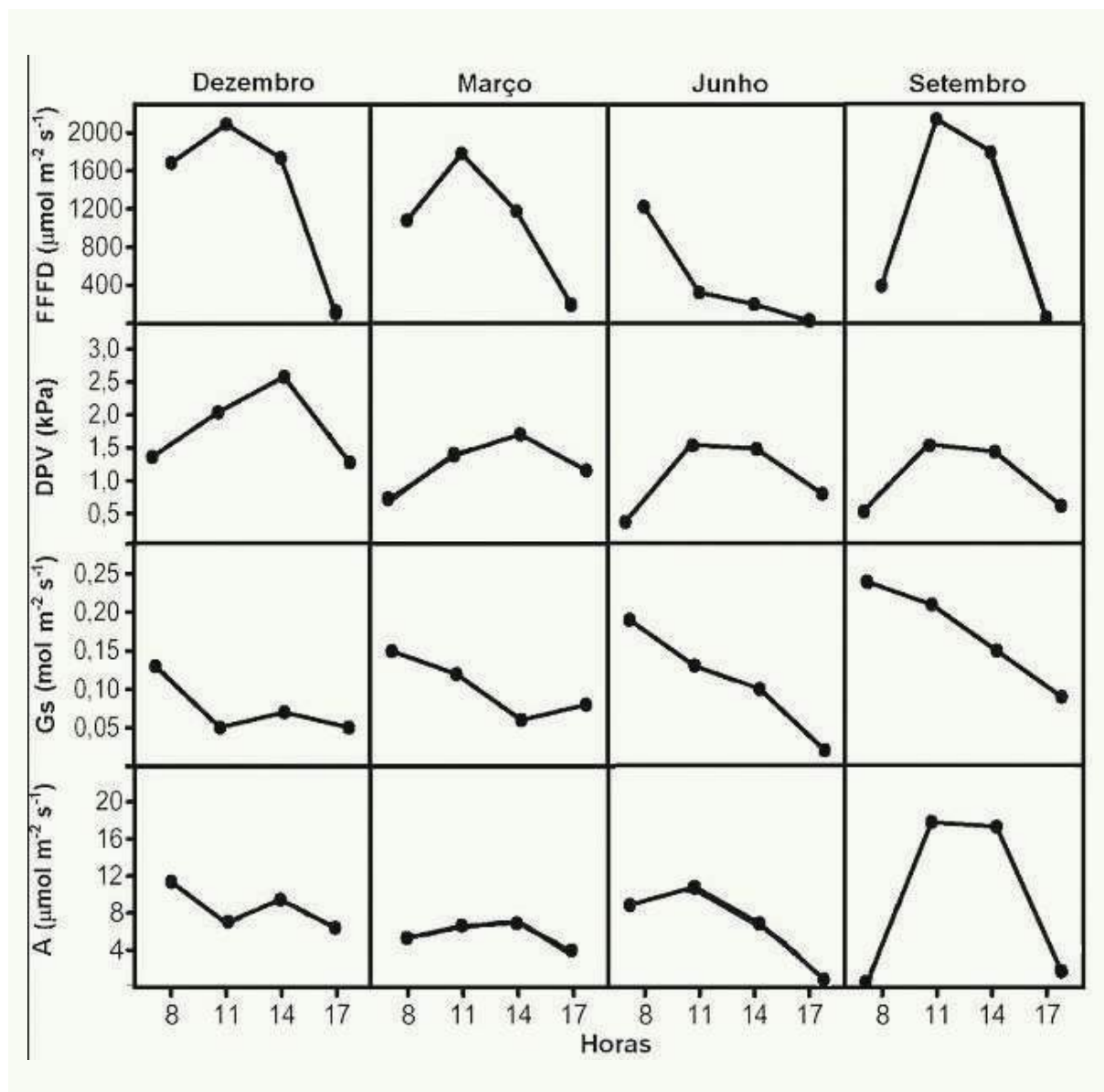


Figura 3. Cursos diurnos do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA), do déficit de pressão de vapor (DPV), da condutância estomática (Gs) e fotossíntese (A) do coqueiro-anão, em Neópolis, SE.

## 2.4 Fotoperíodo

Nas regiões produtoras de coco do Brasil, o fotoperíodo não é um fator limitante à produção comercial da cultura.

## 2.5 Vento

Normalmente, os ventos moderados favorecem o desenvolvimento do coqueiro, por contribuírem para a absorção de água e nutrientes pelas raízes, devido ao aumento da transpiração. Observa-se, também, menor incidência de doenças na faixa litorânea, graças ao efeito fungistático da brisa marinha. Todavia, durante a estação seca, em plantios não irrigados, os ventos mais fortes tornam-se prejudiciais, por aumentarem a transpiração, agravando os efeitos da seca.

Na quase totalidade da área plantada com coqueiro no Brasil, o vento não é um fator climatológico limitante ao seu desenvolvimento, observando-se, todavia, que em algumas faixas do litoral os ventos fortes, em alguns períodos do ano, “queimam” as folhas mais velhas das plantas situadas nas primeiras

linhas em relação ao mar, reduzindo o período de vida da folha e a produção de frutos. Em novos plantios, quando efetuados à beira mar, os ventos mais fortes e diretos sobre a planta jovem podem rasgar seus folíolos mais tenros, retardando o crescimento da planta. Nessas condições, são utilizadas proteções com folhas secas de coqueiros ou com telas do tipo sombrite.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuvas intensas

O granizo, precipitação em estado sólido, tem origem quando da formação de nuvens do tipo cumulonimbus, sendo intensificado pelo aumento da velocidade do vento.

As chuvas intensas aumentam o teor de umidade do ar atmosférico e podem associar-se a ventos fortes. Não há registros na literatura de perdas de pomares de coco causadas por granizos e chuvas intensas.

A análise de frequência da ocorrência destes fenômenos, antes da implantação do pomar, é um bom indicativo para quantificar os riscos climáticos.

#### 3.2 Seca fora de época e veranico

A ocorrência de veranicos (dias consecutivos sem chuvas durante o período chuvoso) é mais crítica quando coincide com o início do florescimento e formação dos cachos, pois é nesse estágio de desenvolvimento que ocorre a maior demanda hídrica da cultura. O estresse hídrico nesta fase causa redução acentuada na produção. Em qualquer outra fase, a deficiência hídrica é tanto maior quanto menor for a capacidade de armazenamento de água do solo e a profundidade efetiva das raízes. Nas regiões produtoras de coco no Brasil, veranicos superiores a cinco dias podem ser limitantes à produção potencial da cultura.

#### 3.3. Vento intenso

Devido ao sistema radicular bastante desenvolvido, dificilmente os coqueiros, durante sua fase produtiva, são derrubados por ventos fortes. Danos são observados em coqueiros velhos e muito altos ou quando o caule acha-se danificado pela ação das coleobrocas.

A ocorrência de vendavais afeta sobremaneira as plantas mais jovens, causando o rasgamento das folhas.

#### 3.4 Geadas

Nas regiões produtoras de coco, do Sudeste do Brasil, os danos causados por geadas devem ser monitorados. Como descrito anteriormente, temperaturas inferiores a 15° C já interferem na fisiologia do coqueiro, embora a planta adulta resista a temperaturas próximas de 1°C. A ocorrência de sucessivas geadas, em áreas com coqueirais ainda jovens, pode causar sérios danos ao pomar. Nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, a quantificação dos riscos de perdas de produção ou de insucesso do plantio pode ser realizada a partir da análise de frequência de ocorrências de geadas.

#### 3.5 Chuva excessiva e, ou, excesso hídrico prolongado

Em áreas mais baixas da planície litorânea, é comum a presença de hidromorfismo devido à proximidade do lençol freático e à dificuldade de drenagem, nos meses chuvosos. Tais condições são altamente prejudiciais ao desenvolvimento do coqueiro desde a planta jovem, logo após o plantio, até a fase produtiva, por não permitir o desenvolvimento do sistema radicular e por dificultar a absorção de água e nutrientes, devido à falta de aeração do solo. As plantas apresentam redução no número e tamanho das folhas e amarelecimento das mesmas. Em coqueiros adultos, ocorre o afinamento da extremidade do caule e a perda total da produção.

## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL 2008: anuário da agricultura brasileira. **Coco-da-baía**. São Paulo: FNP, Consultoria e Agroinformativos, 2008. p. 304-310.
- AKPAN, E. J. et al. Fatty acid profile and oil y yield in six different varieties of fresh and dry samples of coconuts (*Cocos nucifera*). **Pakistan Journal of Nutrition**, Lasani Town, v. 5, n. 2, p. 106-109, 2006.
- ARAGÃO, W. M. et al. Variedades e híbridos. In: FONTES, H. R. (Ed.). **Coco produção: aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2003. p. 21-26. (Frutas do Brasil, 27).
- AZEVEDO, P. V. D. et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, p. 259-264, 2006.
- BENASSI, A. C. **Caracterizações biométrica, química e sensorial de frutos de coqueiro variedade anã verde**. 2006. 98 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)–Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, SP, 2006.
- CASTRO, C. P. **Comportamento de cultivares de coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) nos tabuleiros costeiros do norte de Sergipe**. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas)–Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2007.
- CHILD, R. **Coconuts**. London: Longman, 1974. 335 p.
- CINTRA, F. L. D.; LEAL, M. L. S.; PASSOS, E. E. M. Distribution du système racinaire des cocotiers nains. **Oléagineux**, Paris, v. 47, n. 5, p. 225-234, 1992.
- CINTRA, F. L. D.; PASSOS, E. E. M.; LEAL, M. L. S. Evaluation de la distribution du système racinaire de cultivars de cocotier grand. **Oléagineux**, Paris, v. 48, n.11, p. 453-461, 1993.
- COOMANS, P. Influence des facteurs climatiques sur les fluctuations saisonnières et annuelles de la production du cocotier. **Oléagineux**, Paris, v. 30, n. 4, p. 153-159, 1975.
- CUENCA, M. A. G. **Perfil agrossocioeconômico dos produtores de coco do município de Caucaia-CE**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2000. 23 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado técnico, 25).
- CUENCA, M. A. G.; SIQUEIRA, L. A. Aspectos econômicos da cocoicultura. In: FONTES, H. R. (Ed.). **Coco produção: aspectos técnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2003. p. 21-26. (Frutas do Brasil, 27).
- FONTES, H. R.; CINTRA, F. L. D.; CARVALHO FILHO, O. M. Implantação e manejo da cultura do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Serviço de Produção e Informação, 1998. p. 99-128.
- FONTES, H. R.; WANDERLEI, M. **Situação atual e perspectivas para a cultura do coqueiro no Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. 16 p. (Documentos).
- FREMOND, Y.; ZILLER, R.; NUCÉ de LAMOTHE, M. **El cocotero: técnicas agrícolas y producciones tropicales**. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 236 p.
- JAYAKUMAR, M.; SASEENDRAN, S. A.; HEMAPRABHA, M. Crop coefficient for coconut (*Cocos nucifera* L.): A lysimetric study. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 43, p. 235-240, 1988.
- LORENZI, H. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004. 416 p.
- MIRANDA, F. R. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 2, p.129-135, 2007.
- MORELLATO, L. P. C. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta de altitude na Serra do Japi, Jundiá, São Paulo. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 50, n.1, p.149-162, 1990.
- NUCE DE LAMOTHE, M.; ROGNON, F. Les cocotiers nains à Port-Bouët: I.- Nain Jaune Ghana, Nain Rouge Malais, Nain Vert Guinée Equatoriale, Nain Rouge Cameroun. **Oléagineux**, Paris, v.32, n.8/9, p. 367-373, 1977.
- OCHS, R.; OLLAGNIER, M. Effet des engrais sur la composition des lipides produits par des oléagineux tropicaux perennes et sur leur rendement. **Oléagineux**, Paris, v. 32, n. 10, p. 409-425, 1977.
- PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.
- PASSOS, E. E. M. Ecofisiologia do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Serviço de Produção e Informação, 1998a. p. 65-72.
- PASSOS, E. E. M. Morfologia do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília, DF, Embrapa Serviço de Produção e Informação, 1998b. p. 57-64.
- PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A.; LEAL, M. L. S. Condutância estomática, potencial hídrico foliar e emissão de folhas e inflorescências em três genótipos de coqueiro anão. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 11, n. 3, p. 147-152, 1999.
- PERSLEY, G. J. **Replanting the tree of life: Towards a international agenda for coconut palm research**. Wallinggard: CABI/ACIAR, 1992. 156
- PRADO, C. H. B. A.; PASSOS, E. E. M.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthesis and water relations of six tall genotypes of *cocos nucifera* in wet and dry seasons. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 67, p. 169-176, 2001.
- PURSEGLOVE, J. W. **Tropical crops monocotyledons**. London: Longman, 1972. 607 p.
- SILVA, M. A.; MENESES, R. F. D.; BATISTA, W. R. M. Zoneamento de risco climático para a cultura do coqueiro na região nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 2008, Aracaju-SE. **Geonordeste: geotecnologias e meio ambiente: anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008. 1 CD-ROM.
- SILVA, J. A. A. Capa/coqueiro & coco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, 2001. Página prefacial.
- SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. **A introdução do coqueiro no Brasil, importância histórica e agrônômica**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 47).
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 639 p.
- ZILLER, R. Étude de quelques facteurs agissant sur la teneur en coprah des noix de coco. **Oléagineux**, Paris, v. 15, n. 2, p. 73-81, 1960.

# EUCALIPTO

*Foto: Ulrik De Wachter*





# EUCALIPTO

---

*Aristides Ribeiro<sup>(1)</sup>  
Yhasmin Gabriel Paiva<sup>(2)</sup>  
Raquel Couto Evangelista Baesso<sup>(2)</sup>  
André Quintão de Almeida<sup>(2)</sup>  
Aline Santana de Oliveira<sup>(2)</sup>  
Robson Alves de Oliveira<sup>(2)</sup>  
Paulo José Hamakawa<sup>(1)</sup>  
Mariano Pereira Silva<sup>(1)</sup>*

## 1. INTRODUÇÃO

O potencial produtivo das florestas de eucalipto plantadas em regiões tropicais, especialmente no Brasil, é muito superior a outras regiões do globo, com poucas exceções. Essa alta competitividade do País, no setor florestal, baseia-se nas condições ambientais favoráveis e na eficiência da tecnologia empregada, fruto de consistentes investimentos em pesquisa e desenvolvimento, por parte das empresas, em conjunto com as universidades e outros órgãos de pesquisa.

O ganho na produtividade deu-se, por um lado, pela melhoria no manejo florestal, mas, também, pelo melhoramento genético e pela opção de implantação de plantios clonais. A restrição da base genética imposta por esta prática torna a silvicultura uma atividade de risco, face às incertezas climáticas. Portanto, o maior desafio para a manutenção da alta produtividade atingida pelas empresas florestais, no Brasil, são as adversidades climáticas.

Estima-se que o setor de florestas plantadas respondeu pela arrecadação de R\$ 9,2 bilhões em tributos em 2005, o que representou, aproximadamente, 1,7% do total arrecadado, responsável, também, pela exportação de US\$ 7,4 bilhões, ou 63,5% do total exportado pelo setor florestal e, ainda, por 4% de todas as exportações do País, em 2005. No mesmo ano, alcançou a participação de 8,5% no superávit da balança comercial brasileira. Acrescente-se que a participação do setor florestal, no PIB brasileiro, tem a seguinte distribuição: celulose, com 57,1%; móveis, 15,5%; siderurgia, 14,3%; e madeira sólida, 13,1% (Fonte: Associados da ABRAF, STCP 2007).

No tocante aos benefícios sociais, estimativas mostram que a cadeia produtiva do setor de florestas plantadas (primário e transformação industrial), em 2005, foi responsável por cerca de 4,1 milhões de empregos, sendo 676 mil diretos, 1,7 milhões indiretos e, 1,8 milhões, em empregos resultantes do efeito-renda. Este total engloba 10,5% da população economicamente ativa do Brasil (PEA).

Segundo a Associação Mineira de Silvicultura (AMS), representante das principais empresas de florestas plantadas, o setor florestal é uma das atividades mais produtivas do País, ocupando posição de destaque no “ranking” de exportação do agronegócio nacional. Os investimentos em desenvolvimento científico e tecnológico, no setor, possibilitaram a implantação de milhões de hectares de florestas plantadas, que abastecem diversas empresas produtoras de celulose, painéis, chapas de aglomerado e, como carvão vegetal, abastecem as produtoras de ferro gusa, aço e ferroligas, dentre outros segmentos.

Os números aqui citados trouxeram, também, resultados positivos, tanto de cunho ambiental quanto social. Nenhum outro setor da economia tem dispensado tanta atenção ao cumprimento do Código Florestal Brasileiro quanto a silvicultura. Em 2005, a área de florestas plantadas era de 5,2 milhões de hectares, o que corresponde a 0,62% do território nacional, e 2,8% das áreas florestais plantadas no mundo. Ao mesmo tempo, tais empresas eram, também, guardiãs de cerca de 3 milhões de hectares de florestas nativas do País.

A Figura 1 apresenta gráficos com a distribuição percentual das florestas plantadas (*pinus* e eucalipto), nos principais Estados do Brasil.

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Professor, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Av. P. H. Holsfs, s.n., CEP 36570-000, Viçosa, MG. E-mail: ribeiro@ufv.br

2- Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola.





Figura 1. Distribuição das florestas de eucalipto e pinus, no Brasil. Fonte: Associados da ABRAF, STCP 2007.

Nestes gráficos, é possível perceber a maior concentração das florestas de *pinus* na Região Sul do País. Assim, uma atuação nesta região deveria focar este tipo de floresta. As florestas de eucalipto, por sua vez, estão localizadas, predominantemente, na Região Sudeste do País.

A Figura 2 mostra a evolução da área total de plantio, incluindo expansão e reforma florestal, de eucalipto e *pinus*, das empresas associadas da ABRAF, nos últimos anos. Por meio do gráfico apresentado, é possível perceber um aumento considerável na área plantada no País, incremento impulsionado, principalmente, pelas plantações de eucalipto, já que se constata um decréscimo nas áreas de *pinus* no mesmo período.

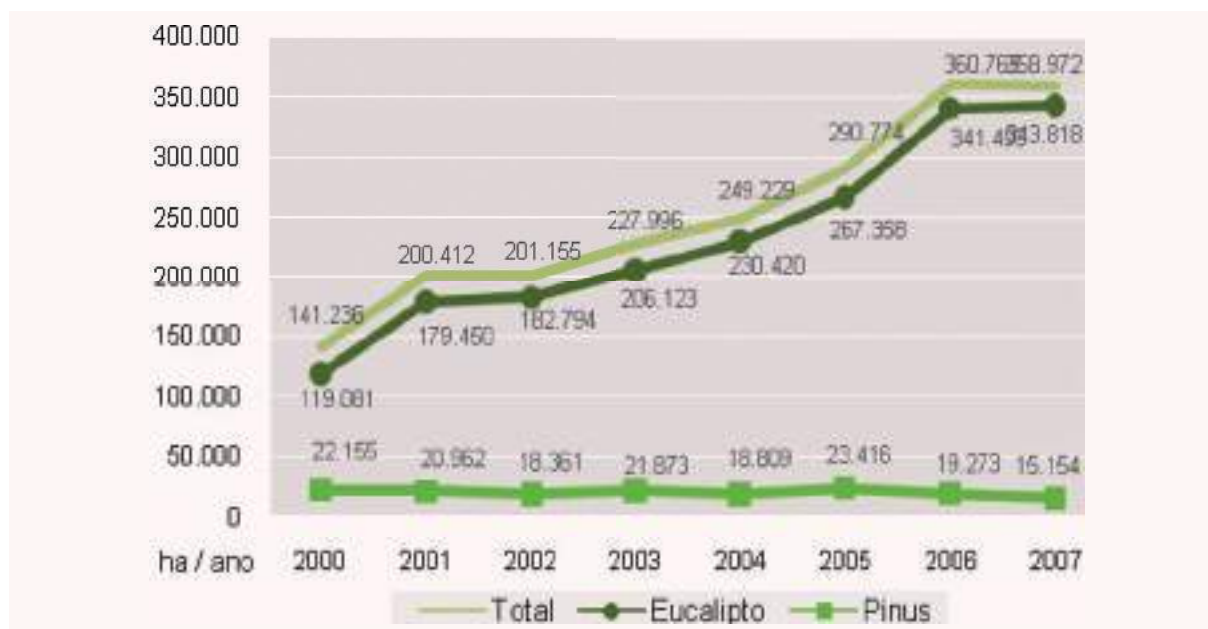


Figura 2. Evolução da área total de plantio de eucalipto e pinus, por parte das empresas associadas da ABRAF. Fonte: ABRAF, STCP 2007.

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, ordem Myrtales das Angiospermas. Com cerca de 600 espécies e subespécies, apresenta uma ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, extrapolando àquelas das regiões de origem.

### 1.1 Fenologia

Os estudos de fenologia de eucaliptos, normalmente, consideram as seguintes fases: diferenciação da gema floral até a queda do primeiro opérculo, período entre a queda do primeiro e do segundo opérculo, florescimento, desenvolvimento dos frutos e liberação das sementes (Mora e Ferreira, 1978; Hodgson, 1976).

O conhecimento da época de ocorrência dos diferentes elementos florais é de grande importância para os trabalhos de melhoramento florestal e de produção de sementes. O período restrito da iniciação floral é fundamental, tendo em vista que qualquer manejo destinado à produção de sementes deve levar em consideração este aspecto.

A variação do período juvenil, entre árvores, também é bastante pronunciada, sendo devida aos efeitos genéticos e ambientais. Observa-se que árvores isoladas, na bordadura de talhões e nos cumes de morros, recebem maior porção de luz em sua copa, florescendo mais precocemente que aquelas em talhões fechados e bastante sombreados. Há indicações de que árvores situadas na encosta norte de montanhas, no Hemisfério Sul, poderiam florescer mais cedo do que as situadas na encosta sul (Schorn, 2003).

Mora e Ferreira (1978) observaram grande variação individual de florescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*, em relação à intensidade e época de florescimento, encontrando, desde clones que não florescem, até outros que o fazem o ano todo. Existem diferenças no período, duração e intensidade de floração para os clones de *E. dunnii* observados por Souza e Higa (1991). Aguiar e Kageyama (1987) verificaram que a ocorrência de botões maduros em *E. grandis*, em Mogi Guaçu, deu-se de janeiro a abril, coincidindo com o principal período de florescimento, enquanto o desenvolvimento floral compreendeu um período de aproximadamente 1 ano, desde o aparecimento dos botões florais até a maturação dos frutos.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

As características edafoclimáticas de uma determinada região indicam a capacidade produtiva do local. Quantitativamente, tal capacidade pode ser expressa por meio do índice de sítio, também chamado de índice de local. As diferentes características edáficas (profundidade do solo, teor de matéria orgânica, conteúdo de argila, etc.) e climáticas (intensidade de radiação, chuvas, temperatura e outros) definem o potencial madeireiro de produção de uma espécie, ou de um clone de eucalipto.

A Figura 3 mostra o zoneamento do potencial produtivo do eucalipto, no território brasileiro (NuTree 2004). Verifica-se que as áreas mais produtivas concentram-se no Centro-norte do Espírito Santo, sul da Bahia, Rio Grande do Sul e extremo noroeste do País. Essas áreas têm, em comum, grandes totais anuais de chuvas, bem distribuídas ao longo do ano. Por este motivo, verifica-se maior concentração de plantios e de áreas de expansão dos plantios comerciais nesses locais, com exceção do extremo noroeste, devido às dificuldades de acesso e distribuição da produção.

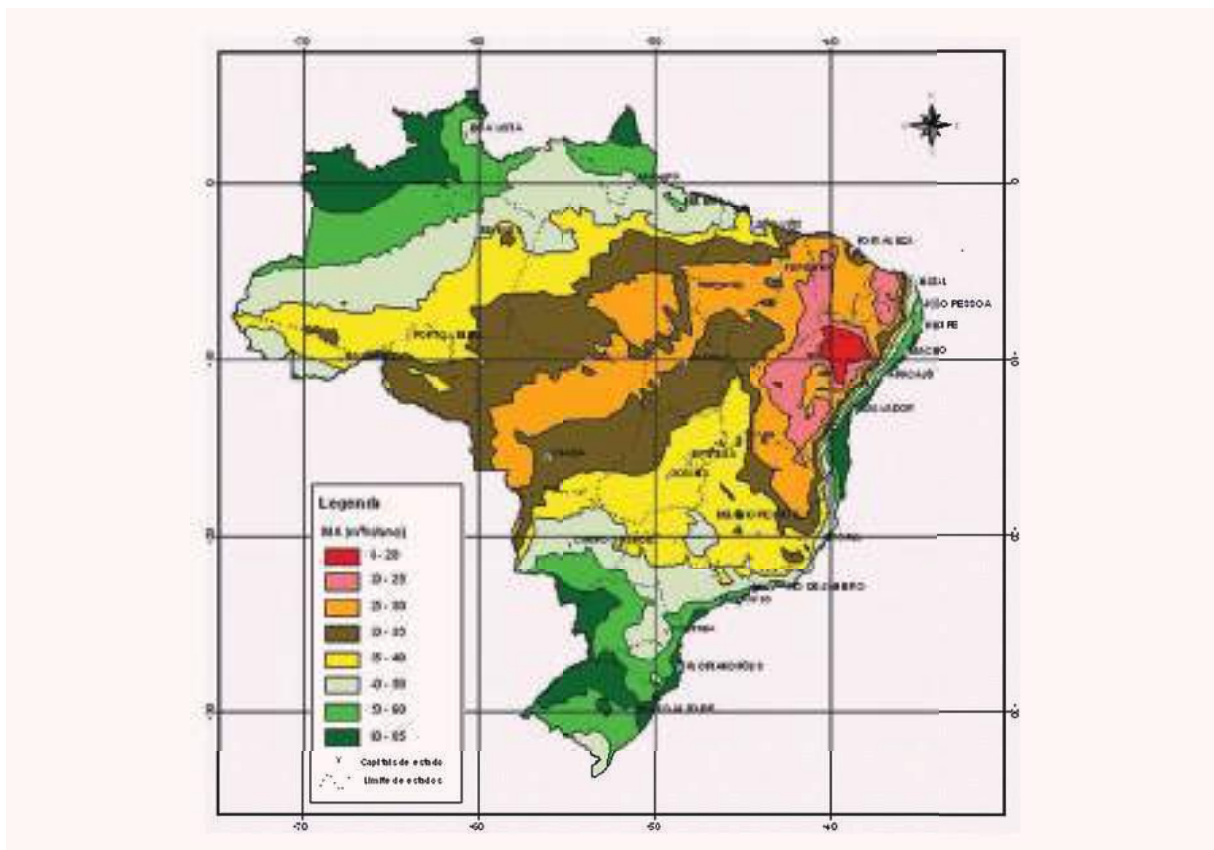


Figura 3. Distribuição espacial da produtividade potencial do eucalipto, no Brasil. Fonte: NuTree 2004

A Tabela 1 mostra as características climáticas e edáficas favoráveis ao desenvolvimento de diferentes espécies de eucalipto.

**Tabela 1. Exigências estabelecidas para a implantação de povoamentos de produção para as espécies trabalhadas. T = temperatura média anual, P = total anual de precipitação e DH = déficit hídrico anual**

Espécie	Aspectos Climáticos			Aspectos Edáficos Solos
	T(°C)	P (mm)	DH (mm)	
<i>Eucalyptus grandis</i> *	6 a 32	1000 a 1800	0 a 400	De profundo a moderadamente profundo, bem estruturado e bem drenado
<i>Eucalyptus urophylla</i> *	12 a 29	1000 a 1500	0 a 400	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	17 a 23	150 a 1250 250 a 1800	0 a 90	
<i>Eucalyptus citrodora</i>	20 a 23	650 a 1600 350 a 1800	30 a 90	

Fontes: \* Golfari (1975); Ferreira (1979) / \*\*Carvalho, (1994). Adaptado de Paiva *et al.* (2007) e Carneiro *et al.* (2006).

As plantas desta espécie podem se adaptar aos diferentes índices locais, potencializando sua capacidade de produção. As espécies florestais, inclusive as do gênero eucalipto, apresentam adaptações fisiológicas modulativas, modificativas e evolutivas durante seu desenvolvimento. As adaptações modulativas ocorrem de forma rápida, reversíveis, difíceis de serem observadas e não trazem melhorias expressivas no potencial produtivo das espécies de eucalipto. As adaptações modificativas ocorrem de acordo com as condições edafoclimáticas durante a morfogênese. Neste caso, a diferenciação fenotípica de órgãos e tecidos, geralmente, é irreversível. Uma forma de identificar a adaptação modificativa, em espécies de eucalipto, é através da quantidade de biomassa produzida pela parte aérea, ao longo de seu ciclo de produção. Outro tipo de adaptação, pela qual o eucalipto pode passar, é a evolutiva. O genótipo da planta sofre modificações, determinando as regiões preferenciais da mesma. Isso reflete uma diferenciação ecológica, que ocorre por meio da seleção e da capacidade de adaptação. (Turesson, 1925).

A Figura 4 mostra a curva de crescimento de eucalipto em quatro regiões bioclimáticas distintas, no Brasil. De acordo com as características edafoclimáticas de cada local, diferentes respostas de incremento de biomassa, da parte aérea, foram encontradas, mostrando assim que os indivíduos sofreram modificações de acordo com os condicionantes do ambiente.

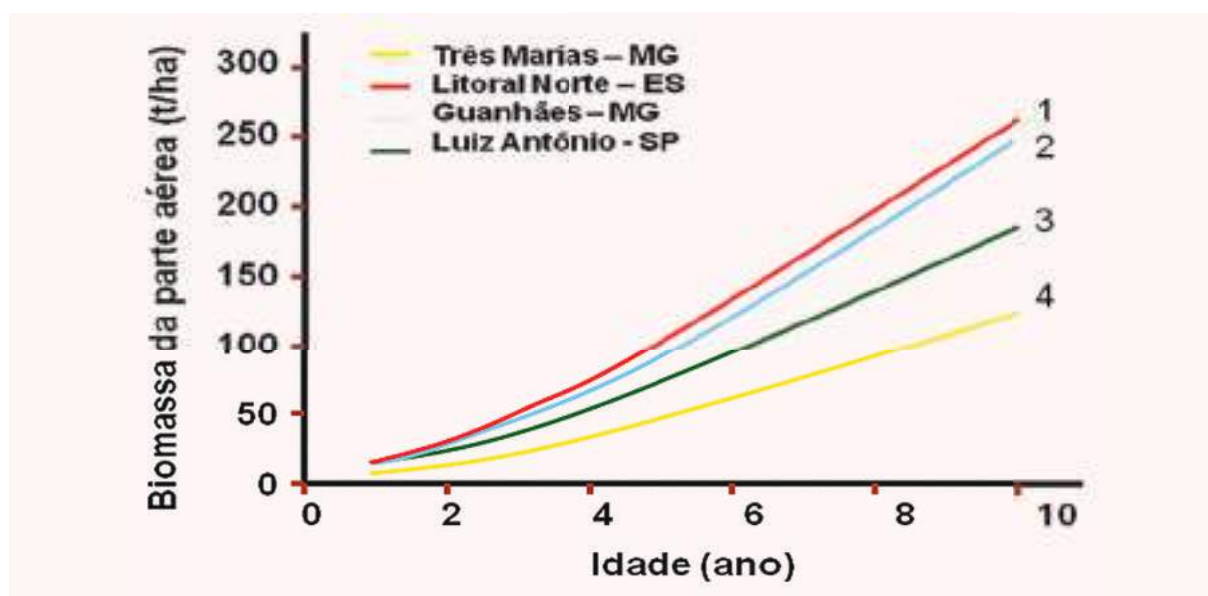


Figura 4. Incremento de biomassa para diferentes localidades. Fonte: Santana (2000).

## 2.1 Disponibilidade Hídrica

Nos Trópicos, a disponibilidade hídrica de uma região é uma das características climáticas mais importantes para o crescimento de plantas. Ao contrário da radiação e da temperatura, a chuva é muito variável, constituindo-se no principal fator determinante da produtividade.

Além de se conhecer o total anual, é de grande importância saber a distribuição das chuvas ao longo do ano. Muitas vezes, mesmo sendo os totais anuais maiores que a média histórica, as precipitações ocorrem concentradas em poucos eventos, favorecendo a ocorrência do escoamento superficial e a percolação profunda da água no solo. Por outro lado, podem não ocorrer, em outros meses do mesmo ano, eventos de chuvas suficientes para repor a água no solo, produzindo, assim, deficiência hídrica.

O eucalipto apresenta um eficiente controle da transpiração devido a sua grande sensibilidade no controle estomático. Este processo pode parecer dispendioso, do ponto de vista da manutenção das plantas, em relação aos recursos hídricos disponíveis e ao eventual dessecamento. No entanto, existe uma correlação direta entre o total de água transpirada e o ganho de biomassa, sob boas condições de disponibilidade hídrica do solo. Pode-se destacar ainda a contribuição deste processo no suprimento de CO<sub>2</sub> (matéria prima para a fotossíntese) e eliminação de O<sub>2</sub>, em que a abertura dos estômatos, necessária para transferência de água para a atmosfera, garante a continuidade do processo de ganho de CO<sub>2</sub>, por difusão. De maneira geral, quanto maior o tempo em que os estômatos permanecerem abertos, maior será a aquisição de matéria prima e, conseqüentemente, maior a biossíntese, embora isso implique, necessariamente, em perda de água.

A evaporação da água do solo tem menor importância quando o dossel vegetativo dos plantios encontra-se fechado, ou seja, cobre totalmente a superfície do solo. Isso pode ser explicado pela diminuição da incidência de radiação solar e pela cobertura do solo pela manta orgânica. Em plantio aberto, a maior exposição do solo confere importância ao processo, sendo este mais significativo logo após uma chuva, vindo a diminuir a taxa de evaporação, rapidamente, com o dessecamento. Esta diminuição rápida na taxa de evaporação é determinada pelo preenchimento dos poros do solo, nas camadas superficiais, pelo ar, ou seja, pela substituição da água pelo ar, formando uma camada isolante cada vez maior, devido à baixa condutividade térmica do ar e à baixa condutividade hidráulica do solo não-saturado.

A condutância estomática é um parâmetro fisiológico através do qual as plantas controlam as trocas gasosas, incluindo a transpiração. Em geral, a superfície das folhas é envolvida por uma membrana, relativamente impermeável ao vapor d'água e ao gás carbônico, possuindo minúsculos orifícios denominados estômatos. Estes orifícios são os órgãos da folha que permitem as trocas gasosas e são muito sensíveis, sendo sua abertura e seu fechamento dependentes de fatores como luz, temperatura, umidade do solo, potencial de água na folha e no solo, déficit entre a pressão de vapor do ar e nos estômatos e estado nutricional da folha. O controle estomático determina a demanda transpirativa a que as folhas estão potencialmente sujeitas e, portanto, determina a taxa de crescimento (Jarvis e Mcnaughton, 1986; Lima, 1996; Radersma e Ridder, 1996).

Kallarackal e Somen (1997) dizem que existe um padrão bastante consistente quanto à variação da condutância estomática durante o dia, ou seja, pela manhã, geralmente, se vêem maiores valores de condutância, enquanto à tarde, estes valores são reduzidos. Os mesmos autores, em análises preliminares, verificaram que a condutância estomática foi controlada pelo saldo de radiação e pelo déficit de pressão de vapor. Logo, o fechamento dos estômatos, que geralmente ocorre próximo ao meio dia, pode ser entendido como uma estratégia evolutiva de maximizar a eficiência do uso da água, pois os estômatos permanecem com maior abertura apenas quando o déficit de pressão de vapor é menor. Leuning (1990) e Dye e Olbrich (1993) verificaram que a condutância estomática em plantas de *Eucalyptus grandis* é muito sensível ao déficit de pressão de vapor.

Carneiro (2004), em um experimento na região de Belo Oriente, MG, quantificou a necessidade hídrica de plantios jovens de eucalipto e o efeito da sazonalidade no uso da água em plantios clonais de híbridos *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, irrigados e não irrigados, com dois anos de idade. Foram realizadas medições de condutância estomática no período úmido, início do período

seco e no período seco, tendo sido encontrados valores médios variando de 0,41 a 0,22 mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, para o tratamento irrigado e, de 0,38 a 0,24 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, para o tratamento não irrigado. Verificou-se, basicamente, que o controle estomático é dependente do produto das variáveis meteorológicas déficit de pressão de vapor e temperatura, com o inverso da irradiância solar global. Os modelos gerados mostraram-se eficientes para simular a abertura e o fechamento estomático. De posse destes modelos e das variáveis meteorológicas, estimou-se a transpiração real do eucalipto, que variou de 8,60 a 3,96 mm d<sup>-1</sup> e de 6,17 a 3,49 mm d<sup>-1</sup>, respectivamente, para os tratamentos irrigado e não irrigado.

Almeida e Soares (2003) compararam o uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e em mata atlântica, na costa oeste do Brasil, e concluíram, considerando o ciclo de crescimento como sendo de cerca de sete anos, que o eucalipto pode consumir menos água que a mata nativa, na região estudada. Nos anos em que a precipitação aproximou-se da média histórica, ocorreu equilíbrio da evapotranspiração para os dois ecossistemas. E, nos anos em que a precipitação foi inferior à média histórica, a mata atlântica apresentou taxas de evapotranspiração superiores às do eucalipto. Sacramento Neto (2000) obteve, para plantios de um e dois anos, taxas médias de evapotranspiração real (ETr) aproximadamente iguais 5,0 e 1,4 mm d<sup>-1</sup>, nos períodos úmidos e secos do ano, respectivamente. Neves (2000) determinou, para plantios adultos, com 10 anos de idade, ETr aproximada de 5,7 e 2,3 mm d<sup>-1</sup>, nos períodos úmido e seco do ano, respectivamente.

### Interceptação da precipitação pluvial pela cobertura do solo

Embora disponível, nem toda a água da chuva pode ser contabilizada no incremento da umidade do solo, haja vista que, parte dessa água é interceptada, tanto pelo dossel quanto pelo material vegetal depositado sobre o solo.

A interceptação pelo dossel dependerá, principalmente, da intensidade e duração do evento chuva, da densidade populacional da cultura e do índice de área foliar. Leite (1996) verificou uma tendência de decréscimo linear da precipitação interna com a densidade populacional, em cultura de eucalipto no município de Santa Barbara, MG, influenciada pela maior interceptação da chuva nas parcelas onde a área útil inicial, por planta, era menor.

Diferentes autores citam que o índice de área foliar, tipo de chuva, formato da copa das árvores e espaçamento de plantio são fatores que influenciam na quantidade de água da chuva que infiltra no solo (Rutter 1971; Opakunle, 1989; Calder, 1992; Leite, 1996; Balieiro, 1999).

Lima (1996) apresentou resultados experimentais de estudos de interceptação da água da chuva pelo dossel, em florestas naturais e em plantações de eucalipto. Os valores encontrados variam de um máximo de 36,0%, para a espécie *Tectona grandis*, a um mínimo de 5,3% (rebrotas de 1 ano), para a espécie *E. camaldulensis*. Estudos conduzidos por Valente *et al.* (1997), em talhões de *Eucalyptus globulus* e *Pinus pinaster* Ait, em Portugal, mostram que a perda por interceptação, em talhões de *pinus*, é de, aproximadamente, 21,2% da precipitação total, enquanto que, para talhões de eucalipto, a perda por interceptação é da ordem de 13,5%. Os maiores valores para o *Pinus pinaster* justificam-se pelos valores mais elevados da capacidade de armazenamento do dossel e da condutância aerodinâmica para este tipo de floresta.

Vários modelos foram desenvolvidos para simular a perda de água por interceptação em florestas, dentre os quais se destaca o modelo de Rutter. O modelo mecanístico de Rutter *et al.* (1971, 1975) estima o balanço de água do dossel e dos troncos, utilizando para isso, como entrada, totais de chuvas e as variáveis meteorológicas necessárias para estimar a evaporação, fornecendo, como saída, a precipitação interna, o escoamento pelo tronco e a evaporação da água interceptada.

Sacramento Neto (2001) encontrou valores de 11,8% e 5,9% para a interceptação do dossel, em plantios clonais de *E. grandis* com um e dois anos, respectivamente. Souza *et al.* (2005), utilizando os dados levantados por Sacramento Neto (2001), para a parametrização e calibração do modelo de Rutter, simularam a interceptação da chuva pelo dossel vegetativo, tendo verificado que esta ferramenta é eficiente na estimativa da perda por interceptação, encontrando valores de 9,10 % para plantio de um e dois anos de idade, indicando que a estrutura da floresta foi bem parametrizada, para plantios jovens de eucalipto.

O material que se desprende das árvores e se deposita sobre o solo, denominado de manta orgânica ou serrapilheira, é fundamental para a manutenção do ecossistema existente entre as camadas mais superficiais do solo e alguns centímetros acima da superfície do mesmo. A manta é responsável pela interceptação de pequena parte da água da chuva. Apesar de sua importância no balanço de água, estudos sobre interceptação de água da chuva, pela manta, ainda são escassos para que conclusões mais consistentes sejam tiradas. Souza et al. (2005), utilizando os dados levantados por Sacramento Neto (2001) para a parametrização e calibração de um modelo tipo tanque, simularam a interceptação da chuva pela serrapilheira, verificando que, embora a contribuição da serrapilheira na interceptação da água da chuva tenha sido pequena (2,4% do total precipitado), é da mesma ordem de grandeza que a interceptação do dossel. Portanto, este componente deve ser contabilizado no balanço hídrico.

### Água e produção de madeira

Estudo conduzido na Bacia do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais, demonstrou que, de maneira geral, as maiores produtividades dos plantios de eucalipto são encontradas nas áreas mais elevadas, como em Guanhães, Nova Era, Peçanha e Virginópolis, quando comparadas a locais de menor altitude, como Belo Oriente e Ipaba.

O estudo conduzido por Souza et al. (2004a) correlaciona a disponibilidade hídrica do solo e produtividade, mostrando que, embora os totais médios anuais de chuva de Belo Oriente, Guanhães e Nova Era sejam bastante próximos, a produtividade de Belo Oriente é bem menor que das outras duas localidades. Três fatores auxiliam na explicação desta constatação: (i) embora os totais de chuva sejam parecidos, verifica-se maior déficit hídrico em Belo Oriente, devido ao maior aquecimento e, portanto maior demanda evaporativa; (ii) dados de trocas gasosas, realizadas em Peçanha e Belo Oriente, mostram que a condutância estomática diminui rapidamente com o aumento do déficit de pressão de vapor de água, indicando fechamento estomático na localidade de Belo Oriente, diferentemente de Peçanha e (iii) o maior aquecimento, tanto diurno quanto noturno, impõe aos plantios, em áreas baixas, um maior gasto de energia para sua manutenção. Além de uma menor taxa fotossintética observada em Belo Oriente, verifica-se, nesta localidade, maiores gastos da energia sintetizada para a respiração. Em outras palavras, a alta demanda atmosférica por vapor de água, observada em Belo Oriente, faz com que os estômatos permaneçam abertos por menor tempo, para evitar o dessecamento demasiado das árvores, indicando que tende a existir um melhor suprimento de CO<sub>2</sub> nas áreas de plantio mais elevadas, justificando a maior biossíntese e, portanto, a maior produtividade naquelas localidades.

O estudo de Souza *et al.* (2004a) mostra ainda informações interessantes sobre a ganho/queda no incremento periódico mensal (IPM) com o aumento/diminuição do total de chuva na estação chuvosa, neste caso, o semestre mais chuvoso do ano, nas localidades de Guanhães e Nova Era. A partir de uma sequência de anos com precipitações acima da média, verifica-se uma relação de ganho na ordem de 0,49 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>mes<sup>-1</sup> e 0,38 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>mes<sup>-1</sup>, para um incremento no total precipitado de 100 mm, para as localidades de Guanhães e Nova Era, respectivamente. Por outro lado, a partir de uma sequência de anos com precipitações abaixo da média, verifica-se uma relação de perda na ordem de 0,98 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>mes<sup>-1</sup> e 0,30 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>mes<sup>-1</sup>, para uma diminuição no total precipitado de 100 mm, respectivamente, para as localidades de Guanhães e Nova Era. Obviamente, estudos desta natureza devem ser utilizados com reservas, devido à base restrita de dados usados na análise. Neste caso, pode-se estimar que, para uma condição média, a redução dos totais de chuvas, em quatro anos consecutivos, nessas duas localidades, na ordem de 400 mm, resultou em queda no incremento médio anual da ordem de 1,7 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, o que representa retração de 4,4% da produtividade esperada. Isto não implica que não possa haver uma recuperação do potencial produtivo, caso, em anos favoráveis, venham a suceder períodos de seca, fato que deve ser investigado. Por outro lado, para uma condição média, chuvas mais abundantes, em seis anos consecutivos (500 mm), indicam ganhos de 3,2 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, com maior grau de incerteza devido à grande variação nos valores encontrados nas duas localidades estudadas, o que representa aumento de 8,0% da produtividade atual esperada.

## Eficiência do uso da água

Carneiro (2008) estudou ainda em Belo Oriente, MG, a variação diurna, sazonal e produtiva da eficiência do uso da água (EUA), para plantios jovens de eucalipto (híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*), submetidos a tratamentos irrigados e não irrigados. Neste estudo, foram realizadas medições da taxa de transpiração e da taxa de fotossíntese líquida, em dois períodos distintos, sendo um estudo no período seco e, outro, no período úmido, para verificar a variação diurna da eficiência do uso da água. A variação sazonal do uso da água foi obtida a partir da relação da estimativa da transpiração, pelo método de Penman-Monteith, com a estimativa do consumo de dióxido de carbono, pelo modelo proposto por Goudriaan & van Laar. A eficiência produtiva do uso da água foi obtida por meio da razão entre madeira produzida por unidade de área, estimada por um inventário florestal nos diferentes tratamentos, e o total de água transpirado. Para o período úmido, foram verificados valores da eficiência diurna do uso da água variando entre 1,4 e 7,5  $\text{g}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$  e, entre 1,1 e 6,4  $\text{g}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$ , para tratamentos irrigado e não irrigado, respectivamente. No período seco, os valores variaram entre 1,8 e 6,2  $\text{g}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$  e, entre 1,3 e 5,9  $\text{g}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$ , para tratamentos irrigado e não irrigado, respectivamente. Os valores médios mensais de EUA encontrados neste estudo foram de 2,7 a 4,5  $\text{g}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$ , para tratamento irrigado e, de 3,6 a 10,8  $\text{g}_{\text{CO}_2} \text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}^{-1}$ , para não irrigado. A eficiência do uso produtivo da água variou entre 1,2 e 1,9 g de madeira por kg de água transpirada, para o plantio irrigado e, entre 1,1 e 2,0 g de madeira por kg de água transpirada, para plantio não irrigado.

Analisando o comportamento diurno, de maneira geral, existe uma maior eficiência do uso da água nas primeiras horas da manhã. No que diz respeito à sazonalidade, o tratamento não irrigado apresentou valores menores de EUA no período úmido devido à alta transpiração verificada. Já o tratamento irrigado não apresentou variações entre os períodos úmido e seco. Com exceção do período inicial, o fornecimento de água, no volume e na frequência aplicados, não contribuiu para um melhor desempenho na eficiência produtiva do uso da água, embora tenha ocorrido um aumento na transpiração. A comprovação disso é a verificação do maior ganho final de biomassa no tratamento não irrigado.

### 2.2 Temperatura

As altas temperaturas observadas nos Trópicos favorecem a produção de eucalipto. Durante o inverno, as plantas não entram no processo de dormência, como ocorre nas altas latitudes, pois raramente atingem valores médios diários abaixo de 10 °C.

Dentro da amplitude térmica em que a fotossíntese ocorre, três variáveis podem ser definidas: temperatura mínima, temperatura ótima e temperatura máxima. Segundo Almeida *et al.* (2004), a temperatura ótima para fotossíntese seria 25 °C, com limite inferior de 8 °C e limite superior de 36 °C, para produção de eucalipto no norte do Espírito Santo. Silva (2006) considerou 25 °C como temperatura ótima, 8 °C como temperatura inferior, e 40 °C como superior, para produção de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais.

### 2.3 Radiação solar

A quantificação da radiação incidente em diversas situações, tanto a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) quanto a radiação solar global (Rg), e o entendimento de seus efeitos, no funcionamento de vários processos fisiológicos, são fundamentais para se estabelecer uma expectativa de produção vegetal e, também, para que se possa propor práticas de manejo que possibilitem o melhor aproveitamento deste e de outros recursos.

Medidas da RFA são úteis para o cálculo da área foliar do dossel vegetativo, para documentar variações temporais na sua arquitetura. Steidle Neto *et al.* (2006) estimaram a fração da RFA com base na Rg, avaliando a variabilidade sazonal da relação RFA/Rg, na Bacia do Rio Doce – MG, com sensores instalados acima do dossel das árvores de eucalipto. A relação foi susceptível às distintas condições atmosféricas predominantes nos períodos secos e chuvosos, sendo maior durante os meses com precipitação elevada e, menor, nos meses com alta estiagem, evidenciando existir variabilidade sazonal.

A eficiência de captura de energia solar é uma função direta da densidade de plantio (número de árvores por hectare), posto que o índice de área foliar é quem determina o valor de eficiência fotossintética de captura de energia. Sabe-se que, dependendo da arquitetura de cada espécie arbórea, dada pela geometria de exposição dos galhos, o valor desta eficiência poderá variar.

As estimativas da produtividade do *Eucalyptus pellita* F. Muell, de biomassa total e do tronco, em função da radiação global, realizadas por Villa Nova *et al.* (2003), demonstraram que é possível avaliar a produtividade potencial de biomassa por meio da disponibilidade de radiação solar global, em função da densidade populacional, desde que se possam estimar as influências modificadoras devidas ao efeito de diferentes condições climáticas e edáficas.

Em países tropicais, como o Brasil, a quantidade de energia solar é uniformemente distribuída ao longo do ano, não sendo limitante para a produtividade. Porém, regiões com relevo ondulado, onde, em certa parte do dia, algumas faces das encostas não recebem radiação direta, podem apresentar menor produtividade. Esta redução na produtividade também pode ser observada na Região Sul do País, onde o recurso água e, ou, precipitação não é limitante para a produção. No entanto, em anos de El Niño, o recurso energia e, ou, radiação começa a se tornar limitante, devido à alta nebulosidade na região durante a ocorrência do fenômeno.

## 2.4 Vento

A advecção produzida pelo vento tem efeitos negativos e positivos para os plantios florestais. A existência de ventos, de moderados a fracos, é importante para o suprimento de CO<sub>2</sub> para as folhas, uma vez que renova o ar próximo aos estômatos e permite que a concentração externa seja a maior possível quando comparada à interna, garantindo o suprimento, via difusão molecular, da matéria prima fundamental para a biossíntese. Por outro lado, ventos intensos e constantes promovem o fechamento estomático e a redução ou interrupção na fotossíntese, reduzindo a transpiração e a consequente inibição do transporte de nutrientes inorgânicos para as plantas. Outros aspectos a serem considerados são as injúrias promovidas pelo efeito da fricção de partes das árvores entre si e a ação do transporte de poeira, que podem danificar os tecidos vegetais, gerando meios para a ação de pragas e doenças. Com isso, parte dos fotoassimilados, que poderia ser destinada ao crescimento, é utilizada na reconstituição dos tecidos, estimando-se que, velocidades do vento iguais ou superiores a 10 ms<sup>-1</sup>, associadas à persistência, por longos períodos do dia, promovam tais efeitos.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo

Plantas jovens de eucalipto, quando submetidas ao granizo, apresentam danos em toda a parte aérea. No caso de intensidade alta, as cascas dos caules e os ramos apresentam-se rasgados, expondo, em alguns casos, o lenho. Verifica-se, ainda, um desfolhamento generalizado e severo e as folhas, que permanecem aderidas às plantas, são rasgadas. Estes danos geralmente inviabilizam a plantação, para exploração comercial. No caso de uma intensidade leve, plantas jovens ou brotações de árvores apresentam injúrias leves, com trincamentos na casca. Esta ação abre portas de entrada que facilitam o estabelecimento e a colonização por fungos oportunistas (Santos *et al.* 2001).

No plantio, um indicativo da ocorrência de granizo é a observação de que os danos provocados ocorrem apenas em uma direção. Nas plantas, apenas um lado do tronco ou da copa apresenta-se danificado.

### 3.2 Seca e veranico

Veranicos são períodos secos, normalmente maiores que sete dias, durante a estação chuvosa, que comprometem o desenvolvimento das plantas em períodos do ano em que não se esperam déficits hídricos do solo.



Souza *et al.* (2004b) apontam que, embora os totais anuais médios de chuva sejam semelhantes em Belo Oriente, Guanhães e Nova Era – MG, verifica-se uma maior ocorrência de veranicos na primeira localidade, fato que pode estar relacionado a uma perda de produtividade. Silva *et al.* (2004) ressaltam que a principal causa de mortalidade de 16,8 % de mudas de *Eucalyptus grandis*, em um plantio realizado em Brasília, DF, foi a ocorrência de um veranico no mês de janeiro, logo após o plantio das primeiras mudas e, outro, no início de fevereiro.

### 3.3 Vento intenso e tombamento

Velocidades extremas do vento podem promover o tombamento e a quebra de árvores. Recentemente, em dois eventos na Bacia do Rio Doce, foram verificadas perdas de 700 e 1.300 ha, o que, sem dúvida, onera a atividade com a perda de matéria prima, com a necessidade de reforma dos plantios, além de gerar desuniformidade dos plantios e queda na produtividade. Para locais onde ocorrem tais eventos extremos, buscam-se materiais genéticos que produzam troncos com maior teor de lignina e maior flexibilidade.

### 3.4 Geadas

A *geada* consiste na ocorrência de uma temperatura do ar inferior a 0 °C, medida em abrigo meteorológico apropriado. As geadas ocorrem quando uma massa de ar é substituída por outra mais fria (*geadas de advecção*), ou quando há acentuado resfriamento noturno, resultante, principalmente, da grande perda de radiação infravermelha para o espaço, em noites de céu aberto (sem nuvens) e de ventos calmos (*geadas de radiação*).

A resistência a geadas envolve mecanismos de prevenção e tolerância da planta. Nas condições de ocorrência da geada, o metabolismo das células é afetado, reduzindo-se ao mínimo as funções fisiológicas mais importantes.

Segundo Dibax (2007), as árvores de eucalipto afetadas por geada apresentam vários danos e, quando observadas à distância, possuem um aspecto de queima ou bronzeamento da folhagem. Higa *et al.* (1994) citam que, além de danos diretos, como morte total ou parcial da copa, até a morte plena da planta, os danos indiretos, que são os mais frequentes, podem, não apenas restringir o potencial de crescimento das plantas, como também contribuir para a susceptibilidade à infecção por patógenos e, até mesmo, inviabilizar a formação de povoamentos comerciais de eucaliptos.

Com a expansão das áreas de plantio de eucalipto na Região Sul do País, a escolha de material genético resistente à geada é um grande desafio. Cauvin e Potts (1991) realizaram um estudo na França, utilizando mais de 300 diferentes clones de eucalipto, mostrando que o material genético com maior resistência à geada é o *E. dunnii*. Higa *et al.* (1997), em estudo realizado em Campo do Tenente – PR, classificaram a espécie como uma das melhores do gênero, em crescimento e resistência à injúrias causadas por este fenômeno climático, com desempenho similar ao *E. viminalis* já testado nestas condições.

### 3.5 Chuva excessiva, e, ou, excesso hídrico prolongado

O eucalipto submetido ao excesso de água, decorrente da alta pluviosidade, pode apresentar anomalias como a necrose foliar, a presença da seca de ponteiros nos galhos e na haste principal, brotações adventícias ao longo do fuste e dos galhos, lançamento de folhas com limbo afilado, deformado e com sintomas de deficiência nutricional, em árvores adultas, além de obstrução com tiloses em vasos do xilema da haste, do lenho e das raízes.

Estudando as causas do aparecimento da doença seca de ponteiro, em plantios de *Eucalyptus grandis* em Arapoti – PR, Maschio *et al.* (2000) verificaram que os sintomas foram apontados em plantas submetidas tanto ao déficit, quanto ao excesso hídrico, indicando que existe relação entre esta doença e o regime hídrico local.

## 4. MODELAGEM DE PROCESSOS

A modelagem de crescimento de plantas permite agrupar, de forma organizada e estruturada, os processos e interações que determinam a produtividade das culturas. Em outras palavras, os modelos são ferramentas importantes para sintetizar o conhecimento científico, bem como, para melhorar a compreensão sobre a ecofisiologia dos vegetais.

Devido à complexidade do crescimento e desenvolvimento dos vegetais, os modelos não consideram a totalidade dos processos e das variáveis envolvidas no crescimento das culturas, ou seja, eles são apenas simplificações da realidade, apesar de muitos apresentarem bons resultados, podendo servir como ferramentas para redução do tempo e do custo da experimentação de campo.

### 4.1 Modelagens dos componentes do balanço hídrico

Facco (2004) verificou forte influência das diferentes inclinações e orientações das encostas nos totais diários de evapotranspiração, na região de Belo Oriente - MG. De forma geral, este fato está relacionado com a maior ou menor disponibilidade de energia para o processo de mudança de fase da água, sendo dependente da face de exposição do terreno. Devido à posição geográfica e às características da topografia da bacia, o saldo de radiação não sofreu grandes alterações no verão. Porém, no inverno, quando o sol está mais ao norte, esta diferença atingiu até 50%, para encostas voltadas para o sul e, aumento de 20%, em regiões com encostas voltadas para o norte. Assim, verifica-se ser importante, nas regiões de relevo ondulado, fazer a correção espacial da intensidade de fluxo, a partir da irradiância solar medida pelo piranômetro.

Quando se realiza a estimativa da transpiração pela planta, em condições em que a topografia não é considerada, percebe-se que há maior transpiração nos plantios mais jovens. Porém, ao considerar a topografia da microbacia e sua variação nos diferentes plantios, nas áreas com plantios de 2 anos foram verificados valores médios anuais de 3,3 mm d<sup>-1</sup>, no ano de 2001, e, nas áreas com plantios de 3 anos de idade, a transpiração média foi de 3,4 mm d<sup>-1</sup>. No ano de 2003, foram verificados, nas áreas com plantios de 3 e 4 anos de idade, de 2,9 e 3,0 mm d<sup>-1</sup>.

Outros aspectos a considerar na influência da topografia no balanço hídrico, especificamente na infiltração de água da chuva, relacionam-se à redistribuição da água no terreno e ao potencial erosivo do solo. Facco (2004), em seu estudo, verificou ainda que, em nenhum momento ou dia, durante o período estudado, foi contabilizado escoamento superficial, o que foi coerente com o que Alves da Silva (2002) encontrou ao aplicar a metodologia de chuvas intensas para determinar o escoamento superficial em uma microbacia coberta com capim rasteiro, na região de Viçosa-MG. Em estudo observacional, conduzido na região de Ipatinga, em plantios de eucalipto com condições de solos e topografia semelhantes, foram encontrados valores semelhantes, constatando que a presença de floresta aumenta o tempo de residência da água. A presença do maciço vegetal diminui a compactação do solo, devido à redução da energia cinética das gotas da chuva (o dossel atua como amortecedor dos pingos de água), enquanto as raízes e o material orgânico depositado reduzem o escoamento superficial, favorecendo a infiltração. Por outro lado, após a colheita e enquanto o dossel vegetativo cobre parcialmente o solo, esses mecanismos são ausentes, possibilitando maior escoamento superficial, com agravante para áreas muito inclinadas. Áreas com linha de plantio no sentido da declividade agravam ainda mais o problema, promovendo prejuízo por piorar a distribuição da água e por aumentar o efeito cinético de arraste, favorecendo a erosão.

### 4.2 Modelagem de crescimento

As florestas são sistemas biológicos que estão sempre em mudança, portanto, necessita-se da projeção destas mudanças para que se possam tomar decisões, a fim de ser executado um manejo adequado no ecossistema. As decisões de manejo são baseadas em informações sobre as situações atual e futura dos povoamentos. A modelagem florestal está intimamente ligada ao manejo das florestas, pois, com a condição de se predizer o futuro de um povoamento, é mais fácil manejá-lo e explorá-lo racionalmente, sem que haja agressões ao meio ambiente.

O desenvolvimento de modelos capazes de simular o crescimento de florestas plantadas é de suma importância para o planejamento e tomada de decisão (ajuste de manejo) de empresas florestais. Os modelos de simulação são úteis para entender, dinamicamente, os processos biofísicos que envolvem o sistema solo-planta-atmosfera. Esta ferramenta permite a análise da influência dos fatores e os mecanismos que são determinantes no ganho ou na perda de produtividade.

#### 4.2.1 O modelo 3-PG

O modelo de crescimento 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth) é baseado em processos ecofisiológicos, valendo-se de princípios fisiológicos para estimar a produtividade florestal em plantios equiâneos e monoespecíficos. Necessita de poucos ajustes para se obter uma estimativa realista do crescimento florestal e, também, pode ser facilmente parametrizado para um tipo definido de floresta plantada (Landsberg, 1997; Waring, 1997), sendo, assim, um modelo bastante adequado e utilizado atualmente para fins de determinação de desenvolvimento florestal.

O 3-PG incorpora relações empíricas, obtidas a partir de medições experimentais, e processos fisiológicos utilizados em modelos de balanço de carbono. Descreve o crescimento, tendo como dados de entrada a energia, a temperatura e o nível de nutrição (fertilidade do solo). Esta incorporação facilita o cálculo de processos fisiológicos complexos, diminuindo, conseqüentemente, a quantidade de variáveis de entrada.

Essencialmente, o modelo 3-PG estima a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA) por meio da lei de Beer, considerando que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é 50% da radiação global (RS). Quantificada a RFAA pelo dossel, o 3-PG estima a quantidade de CO<sub>2</sub> fixado por unidade de energia radiante absorvida (fótons), que representa a eficiência quântica do dossel. O valor dessa eficiência de conversão é calculado a partir de um valor de eficiência quântica máxima do dossel e considera as limitações ambientais impostas pelo déficit de pressão de vapor, pela temperatura, pelas geadas, pela disponibilidade hídrica, pela condição nutricional e pela idade da população. Após considerar todas essas limitações impostas pelo ambiente, por meio dos modificadores, o 3-PG estima o relacionamento entre a produção primária bruta (PPB) e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA).

## 5. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

### 5.1 Projeções das mudanças climáticas para o Brasil

Apesar dos modelos climáticos globais convergirem para uma tendência de aumento da temperatura, há ainda, muita incerteza com relação às possíveis mudanças na precipitação e quanto às modificações na frequência de extremos climáticos (secas, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo, etc), principalmente em escala regional.

As estimativas indicam uma faixa de aumento de temperaturas de 0,4°C a 1,8°C em 2020, e de 1,0°C a 7,5°C em 2080, para a América do Sul e Central, sendo que os maiores valores de aquecimento ocorrerão na porção tropical da América do Sul. As projeções das mudanças na precipitação são mais complexas. As projeções climáticas regionais apresentam um alto grau de incerteza. Modelos climáticos apresentam tanto uma redução na precipitação de 20% a 40%, quanto um aumento de 5% a 10% em 2080, para a América do Sul Tropical, com uma tendência de climas mais secos no final do século.

Como era de se esperar, as principais fontes de incertezas regionais, para as alterações climáticas, estão associadas com projeções de diferentes cenários e de diferentes modelos climáticos globais (MCG), existindo, atualmente, mais de 20 modelos climáticos globais em operação. Neste contexto, para minimizar possíveis erros, deve-se escolher, para criar os cenários futuros de produtividade, diferentes modelos, abrangendo previsões mais e menos otimistas, de grupos de pesquisa respeitados no mundo. Restará, ainda, ajustar a escala global (300 a 600 Km de resolução espacial) para escala regional (50Km de resolução), por meio de técnicas de “downscaling” estatístico, por exemplo.

## 5.2 Simulação da produtividade futura do eucalipto

Cenários de mudanças climáticas, associados aos modelos de crescimento baseados em processos fisiológicos, podem ser úteis para identificar os riscos de consequências negativas na produtividade futura de florestas plantadas. O modelo de crescimento 3-PG é bastante adequado para determinação do desenvolvimento florestal, pois representa bem os processos e interações da planta.

Modelos com base ecológica e fisiológica, como o 3-PG, têm sido utilizados para simular o crescimento de florestas sob condições climáticas atuais e futuras (Almeida *et al.*, 2004; Stape *et al.*, 2004; Paul *et al.*, 2007; Baesso *et al.*, 2009).

Em estudo realizado por Baesso *et al.* (2009), observou-se que, quando não se considerou o efeito fertilizante do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, por meio de aumentos na eficiência quântica máxima do dossel, a produtividade futura do eucalipto decresceu em três períodos futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100), utilizando três MCG distintos, para plantio localizado no sul do Estado da Bahia. Quando foi considerado o efeito fertilizante do aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, a produtividade futura respondeu com aumentos em seus valores, chegando a superar a produtividade atual nos períodos de 2011-2040 e 2041-2070. Porém, as condições climáticas não permitiram que em 2071-2100 a produtividade superasse ou se igualasse aos valores atuais, pois neste período são esperados, pelos modelos climáticos, valores extremos das variáveis climáticas, como aumento da temperatura e decréscimo da precipitação, que alteram principalmente processos como a fotossíntese e a respiração, que são interpretados pelo 3-PG como modificadores ambientais, que limitam a produtividade. Assim, o decréscimo da produtividade em 2071-2100, mesmo quando foi considerado o efeito fertilizante do CO<sub>2</sub>, apenas confirma a vulnerabilidade dos sistemas florestais à variação climática.

As incertezas quanto à modelagem ecofisiológica residem no fato do modelo 3-PG não ser ainda sensível a alguns processos, como o efeito denominado de fertilização das plantas C<sub>3</sub>, no caso o eucalipto, que aumentaria a eficiência fotossintética pelo aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. Outros processos, ainda não bem entendidos, são o aumento da respiração de manutenção, devido ao aumento da temperatura do ar atmosférico, e o estímulo de maior fechamento estomático, devido o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>.

Assim, não se deve esperar, em curto prazo, estimativas precisas dos ganhos ou perdas de produtividade dos plantios florestais, mas deve-se buscar a obtenção de valores prováveis dessas mudanças para auxiliar na tomada de decisão.

Os ganhos genéticos, ao longo do tempo, devem ser outros aspectos a serem considerados, uma vez que o manejo florestal tem menor peso, devido à alta tecnologia empregada na condução de florestas pelas empresas do setor. Neste ponto, estudos de simulação como este permitirão balizar os principais aspectos genéticos a serem considerados para o cenário futuro, face às mudanças climáticas, direcionando o trabalho dos geneticistas.

## 5.3 Modelagem do crescimento de plantios de eucalipto submetidos a aumentos na concentração de CO<sub>2</sub>

Como a fotossíntese é a principal via de entrada de carbono e energia na biosfera e, ao lado da transpiração, representa um dos principais processos fisiológicos através dos quais as plantas percebem as alterações atmosféricas, todo processo que possa afetá-la deve ser cuidadosamente estudado e, na medida do possível, utilizado para deduzir eventos ocorridos no passado e fazer previsões para o futuro. Na folha, a taxa fotossintética é resultado direto da atividade da enzima Rubisco, que por sua vez, é influenciada por vários fatores ambientais, incluindo CO<sub>2</sub>, temperatura e luz. A atual concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente é insuficiente para saturar a Rubisco, em plantas C<sub>3</sub>. Conseqüentemente, num curto período em que se aumenta a disponibilidade deste substrato, verifica-se um aumento da taxa fotossintética, devido ao incremento da atividade carboxilase, bem como a diminuição da atividade oxigenase da Rubisco, processo que promove a perda de CO<sub>2</sub> através da fotorrespiração (Bowes, 1993).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o mais importante gás de efeito estufa, emitido pelas atividades humanas. Com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, ocorrem dois efeitos, isto é, o efeito radiativo do CO<sub>2</sub> (aquecimento) e o efeito fertilizante do CO<sub>2</sub>. Este último efeito aumenta a taxa fotossintética de algumas espécies. Os efeitos benéficos de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>, no crescimento das plantas, dependem do seu estado hídrico. Assim, é importante considerar tanto o incremento atmosférico de CO<sub>2</sub> quanto a disponibilidade de água no solo para avaliar, de fato, os possíveis efeitos das mudanças climáticas na produção agrícola e florestal. Um determinado aumento na concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> pode incrementar a produtividade, dependendo da disponibilidade de água no solo (Rogers *et al.*, 1986; Kimball *et al.*, 1995). Portanto, em culturas de importância econômica, é fundamental conhecer as possíveis interações entre os efeitos do déficit hídrico e das altas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se alto potencial para o crescimento dos plantios de eucalipto no Brasil, uma vez que as condições edafoclimáticas são muito favoráveis à espécie, praticamente em todo o território nacional. A produtividade do eucalipto no Brasil, bem como o ganho de volume (m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), em relação aos países de tradição silvícola, como, por exemplo, o Canadá, os EUA e a Suécia, chegam a ser 10 vezes maior. Mesmo quando se compara com a Austrália, país de origem da espécie, a produtividade nacional é duas vezes maior. Adicionalmente, a adaptabilidade da espécie às condições ambientais do Brasil, e os altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, que se traduzem em melhoramento genético e de manejo, garantem esta supremacia. Embora a crise econômica mundial tenha diminuído o preço da madeira, diminuindo a rentabilidade, o caráter transitório desta condição e o alto retorno, ainda presente, prometem que a expansão das áreas plantadas, já em curso, se concretize, consolidando a liderança do Brasil no setor. Outros fatores corroboram esta afirmação, como a busca de fontes energéticas limpas, políticas de crédito de carbono e aumento do controle do desmatamento ilegal.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALFONSI, R. R.; CAMARGO, M. B. P. **Característica climática das áreas de propriedade da Cia. Suzano de Papel e Celulose no Estado de São Paulo**. São Paulo: Cia. Suzano Papel e Celulose, 1988. (Relatório interno).

ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v.193, p.179-195. 2004.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ALVES da SILVA, J. M. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma superficial em bacias hidrográficas**: desenvolvimento e aplicação. 2002. 114 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa.

BAESSO, R. C. E. et al. Effect of climate change on eucalyptus productivity. Submetido a **Forest Ecology and Management**, em Maio de 2009.

BALIEIRO, F. C. **Nutrientes na água de chuva e na biomassa na monocultura e consórcio de *Acacia mangium* Willd., *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 1999. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. p.487-592.

BOWES, G. Facing the inevitable: Plants and increased atmospheric CO<sub>2</sub>. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 44, p. 309-332, 1993.

CALDER, I. R. Water use of Eucalyptus – A review. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GROWTH AND WATER USE OF FOREST PLANTATIONS, Bangalore. **Proceedings...** Chichester: Wiley, 1991. Editado por I. R. Calder; R. L. Hall; P. G. Adland.

CALDER, I. R., HALL, R. L., ADLARD, P. G. **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: J. Willey, 1982. 381p.

CARNEIRO, R. L. de C. et al. Consumo de água em plantios de eucalipto - Parte 1: Determinação da condutância estomática em tratamentos irrigados e não irrigados. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1-10, 2008.

CARNEIRO, R. L. de C. et al. Consumo de água em plantios de eucalipto - Parte 2: Modelagem da resistência estomática e estimativa da transpiração em tratamentos irrigados e não-irrigados. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, p. 11-18, 2008.

CARNEIRO, M. A. et al. Aptidão da Bacia do Rio Dourados para o cultivo de algumas espécies de eucaliptos. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 3, set./dez. 2006.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 640 p.

CAUVIN, B.; POTTS, B. **Selection for extreme frost resistance in *Eucalyptus***. [1991]. p.209–220. Disponível em: < [http://eprints.utas.edu.au/3343/1/Cauvin\\_and\\_Potts\\_1991\\_IUFRO.pdf](http://eprints.utas.edu.au/3343/1/Cauvin_and_Potts_1991_IUFRO.pdf) >. Acesso em: 23 maio 2006.

- COSTA, A. C. **Respostas fisiológicas de duas linhagens de soja à atmosfera enriquecida com CO<sub>2</sub> e à restrição hídrica**. 2003. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa. p.36.
- DYE, P. J.; OLBRICH, B. W. Estimating transpiration from 6-year-old *Eucalyptus grandis* trees: development of a canopy conductance model and comparison with independent sap flux measurements. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16 p. 45-53, 1993.
- FACCO, A. G. **Modelagem e simulação geoespacial dos componentes do balanço hídrico para plantios de eucaliptos em áreas de relevo ondulado**. 2004. 87 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa.
- FERREIRA, M. **Escolha de espécies de Eucalipto**. Piracicaba: IPEF, 1979. p. 1-39. (IPEF-Circular técnica, v. 47).
- GASH, J. H. C. An analytical model of rainfall interception by forests. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berks, v. 105, p. 43-55, 1979.
- GEO WORLD. **Endeavour maps the world in three dimensions**. Disponível em :< <http://www.geoplace.com/gw/2000/0400/0400tec.asp>>. Acesso em : 20 mar. 2003.
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975. 65 p. (PRODEPEF. Série técnica n. 3).
- HASHINO, M.; YAO, H.; YOSHIDA, H. Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 255, p.1-11, 2002.
- HIGA, A. R.; GARCIA, C. H.; SANTOS, E. T. **Geadas, prejuízos à atividade florestal**. Silvicultura, São Paulo, v. 15, p. 40-43, 1994.
- HIGA, R. C. V.; HIGA, A. R. Efeitos de danos causados por geadas na sobrevivência e crescimento de *Eucalyptus viminalis* LABILL.1997. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém: **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1997. p. 263.
- HODGSON, L. M. Some aspects of flowering and reproductive behaviour in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden at J.D.M. Keet Forest Research Station 2. The fruit, seed, seedlings, self fertility, selfing and inbreeding effects. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 97, p. 32-43, 1976b.
- JARVIS, P. G.; MACNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Advances in Ecological Research**, London, v. 15, p. 1-49, 1986.
- KALLARACKAL, J.; SOMEN, C. K. An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 95, p. 53-61, 1997.
- LANDSBERG, J. J. E. WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 95, p. 209-228, 1997.
- LEITE, F. P. **Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais**. 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.
- LEUNING, R. Modelling stomatal behavior and photosynthesis of *Eucalyptus grandis*. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 17, p. 159-175, 1990.
- LIMA, F. Z. **Desenvolvimento e avaliação de modelos de irradiância solar difusa para Viçosa - MG**, 1996b. 68 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa.
- LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: UFSCar, 1996a.
- MASCHIO, L. M. A.; ANDRADE, F. M.; AUER, C. G. Contribuição e fatores climáticos na ocorrência da seca de ponteiros de *Eucalyptus grandis* em Arapotí-PR. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 41, jul./dez. p. 55-63, 2000.
- MIELKE, M. S. et al. Stomatal control of transpiration in the canopy a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Trees**, Berlin, v. 13, p. 152-160, 1999.
- MORA, A. L. ; FERREIRA, M. Estudo do florescimento em *Eucalyptus urophylla*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1978, Manaus, **Anais...** São Paulo: SBS, 1978. p. 50-53. (Publicação em Silvicultura n.14 ) Edição especial.
- NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 f. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.
- PAIVA, Y. G. et al. **Zoneamento agroecológico de pequena escala para *Toona ciliata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim - ES, utilizando dados SRTM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,13., 2007, Florianópolis. **Anais...** [São José dos Campos]: INPE, [2007]. p. 1785-1792.
- PAUL, K. I. et al. Calibration of the forest growth model 3-PG to eucalypt plantations growing in low rainfall regions of Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 243, p. 237-247, 2007.
- RADERSMA, S.; RIDDER, N. Computed evapotranspiration of annual and perennial crops at different temporal and spatial scales using published parameter values. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 31, p. 17-34, 1996.
- RUTTER, A. J. et al. A predictive model of rainfall interception in forest. I. Derivation of the model from observation in a plantation of *Corsican pine*. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 9, p. 367-384, 1971.
- RUTTER, A. J.; ROBINS, P. C.; MORTON, A. J. A predictive model of rainfall interception in forest. II. Generalization of the model and comparison with observations in some *coniferous* and *hardwood* stands. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 12, p. 367-380, 1975.
- SACRAMENTO NETO, O. B. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente - MG**. 2001. 82 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa.
- SANTANA, R. C. **Predição de biomassa e alocação de nutrientes em povoamentos de eucalipto no Brasil**. 2000. 56 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa.
- SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JUNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle**. Colombo: EMBRAPA, 2001. (Circular Técnica).
- SCHORN, L. A. **Aspectos gerais da produção de sementes**. In: UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU. Disciplina: Silvicultura I. Blumenau, fevereiro de 2003. Disponível em: < [http://home.furb.br/lischorn/silvi/1/aspectos\\_ecologicos\\_da\\_producao\\_de\\_sementes.pdf](http://home.furb.br/lischorn/silvi/1/aspectos_ecologicos_da_producao_de_sementes.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2009.
- STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* \_ *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, p. 219-234, 2004.
- STEIDLE NETO, A. J. et al. Variabilidade sazonal da relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação global na bacia do rio Doce, estado de Minas Gerais. **Acta scientiarum . Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 427-431, July/Sep., 2006.
- TURESSON, G. The plant species in relation to habitat and climate: Contributions to the knowledge of genealogical units. **Hereditas**, Lund, v. 4 p. 147-236, 1925.
- UBARANA, V. N. Observation and modelling of rainfall interception in two experimental sites in Amazonian forest. In: GASH, J. H. C. et al. (Ed.). **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley, 1996.
- VILLA NOVA, N. A.; MOREIRA, P. R.; PEREIRA, A. B. Eficiência de captura de energia solar por um dossel de *Eucalyptus Pellita* F. Muell sob várias densidades de plantio. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n. 2, p. 269-274, 2003.





# FORRAGEIRAS





# FORRAGEIRAS *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*

Carlos Guilherme Silveira Pedreira<sup>(1)</sup>

Felipe Tonato<sup>(2)</sup>

Márcio André Stefanelli Lara<sup>(3)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

As pastagens ocupam áreas superiores a quaisquer outras culturas agrícolas do Brasil, mais de 172 milhões de hectares, ha., aproximadamente 20% da área agricultável do nosso território (IBGE, 2007), constituindo-se na base alimentar de um rebanho de aproximadamente 180 milhões de cabeças, para o qual o pasto é alimento quase exclusivo (Bürgi e Pagoto, 2002). Apesar dessa inegável importância produtiva, as áreas pastoris têm sido relegadas ao segundo plano, no contexto dos sistemas pecuários brasileiros. Conforme levantamentos, 80% das pastagens cultivadas se encontram em algum estado de degradação (Barcellos e Vilela, 2001) ou acham-se em áreas de solos degradados (Kluthcouski e Aidar, 2003).

Dentre as dezenas de espécies de gramíneas forrageiras usadas para a produção animal no Brasil, destacam-se as dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*. Levantamentos indicam que o gênero *Brachiaria* ocupa área superior a 100 milhões de ha., com apenas um cultivar, e o Braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), mais de 70 milhões de ha. (Embrapa Gado de Corte, 2008a). Os capins Tanzânia e Mombaça, dois dos principais cultivares do gênero *Panicum*, estão presentes com mais de 5 milhões de ha. cada um (Embrapa Gado de Corte, 2008 b, c) e o capim Tifton 85, um dos últimos *Cynodon* trazidos para o Brasil, já foi implantado em mais de 500.000 ha., entre 1995 e 2005 (Da Silva, 2005).

### 1.1 O gênero *Brachiaria*

A *Brachiaria* é o capim mais plantado no Brasil, sendo usado na cria, recria e engorda de bovinos, desde que bem manejado. O grande interesse da pecuária pelas espécies de *Brachiaria* se deve ao fato de serem tais plantas de alta produção de matéria seca, de boa adaptabilidade, de facilidade de estabelecimento, de persistência e de bom valor nutritivo, além de apresentarem poucos problemas de doenças. Adicionalmente, apresentam bom crescimento durante a maior parte do ano, inclusive no período seco (Costa et al., 2005).

Nacionalmente, o braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) é uma das gramíneas forrageiras mais importantes para a alimentação dos bovinos de corte e de leite. A partir da introdução e avaliação agrônômica de novos genótipos de *B. brizantha* no Brasil, foi possível a identificação de acessos promissores, que poderão ser inseridos em sistemas de produção animal mais eficientes, técnica e economicamente. Entretanto, para a recomendação de novas cultivares deve-se levar em conta a determinação do máximo de características morfofisiológicas que permitam indicar, com maior precisão possível, o nicho ecológico para uma eficiente utilização (Deschamps, 1997). Características como altura da planta, relação colmo/folha, taxas de crescimento, dinâmica de perfilhamento, remoção de meristemas apicais, expansão foliar, dentre outras, apresentam uma relação direta com a produtividade e a qualidade da forragem em oferta, além de subsidiar a adoção de práticas de manejo mais adequadas (Costa et al., 2003).

O gênero *Brachiaria* compreende cerca de 97 espécies, distribuídas por toda a zona tropical do planeta, com grande diversidade morfológica e fenológica e com limites taxonômicos ainda mal definidos. São encontradas espécies nativas no continente Americano (14), na Austrália (10) e no sudeste Asiático (6), sendo o restante encontrado no continente Africano (Renvoize et al., 1996). Essas espécies crescem dentro de uma grande faixa de variação de habitat, encontrando-se tipicamente nas savanas, mas também em regiões alagadas ou desérticas, em plena luz ou sombreadas (Buxton e Fales, 1994). Apesar da grande variabilidade, poucos são os ecótipos utilizados comercialmente como plantas forrageiras na América tropical. Têm-se como exemplo, a *B. dictyoneura*, a *B. brizantha*, a *B.*

1- Eng. Agrônomo, Ph.D., Professor, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Depto. de Zootecnia, Av. Pádua Dias, 11, C.P. 9, Piracicaba, SP, CEP 13418-900. E-mail: cgspedre@esalq.usp.br

2- Zootecnista, Mestre, ESALQ/USP, Depto. de Zootecnia. E-mail: flipetonato@yahoo.com

3- Eng. Agrônomo, Mestre, ESALQ/USP, Depto. de Zootecnia. E-mail: maslara@esalq.usp.br

*decumbens*, a *B. humidicola*, a *B. mutica* e a *B. ruzizensis* (Buxton e Fales, 1994).

Em todo território brasileiro, existem aproximadamente 180 milhões de hectares de pastagens cultivadas e nativas. Da área cultivada, 70 a 80% são formadas por espécies do gênero *Brachiaria*. Segundo Macedo (1995) e Sano et al. (1999), dados não oficiais mostram que as braquiárias ocupam aproximadamente 85 % das pastagens na região dos Cerrados (42,5 milhões de hectares dos 55 milhões de hectares de pastagens cultivadas), e que os Estados do Centro-Oeste possuem aproximadamente 73 milhões de hectares de pastagens, dos quais 51 % são formadas por *Brachiaria*, 41-42 % formadas por espécies nativas e apenas 7-8 % por outras espécies forrageiras. O gênero *Brachiaria* permitiu o aumento do rebanho nacional, em número e na melhoria de seus índices zootécnicos. O número de cabeças passou de, aproximadamente, 158 milhões, em 1996, para cerca de 207 milhões, em 2005 (IBGE, 2007).

Entre as espécies de *Brachiaria*, destacam-se vantagens como a elevada produção de forragem, tolerância a pragas, em especial as cigarrinhas das pastagens [*Zulia entreciana* (Berg), *Deois flavopicta* (Stal) e *Deois schach* (Fab)], alta resposta à aplicação de fertilizantes, boa qualidade de forragem e alta produção de raízes e sementes, com a maior participação no mercado de sementes forrageiras no Brasil (Soares Filho, 1994).

Morfologicamente, o gênero *Brachiaria* é constituído por plantas herbáceas, perenes ou anuais, eretas ou decumbentes, rizomatosas ou não, comumente emitindo raízes adventícias nos nós em contato com o solo. A bainha foliar é aberta, podendo ser glabra ou pilosa, normalmente excedendo as dimensões dos internódios. A lígula é formada por um curto anel membranáceo formado por pêlos brancos ou hialinos. A lâmina foliar desenvolvida é lanceolada, de ápice acuminado, glabra ou pilosa (Leitão Filho, 1977). As inflorescências são terminais, paniculadas de cachos mais ou menos secundifloros (duas fileiras de flores). Apresentam espiguetas de elipsóides a ovóides, dorsalmente aplanadas, 2-floras com a inferior masculina ou estéril. Duas glumas, herbáceas, nervadas, a inferior curta, mas evidente. Lema estéril semelhante à gluma superior. Lema fértil cartilaginosa, rígida, as suas margens enroladas abraçando a pálea semelhante, mas plana. Fruto cariopse (grão) oblongo ou elipsóide, dorsalmente aplanada.

Em comunidade de plantas forrageiras, em condições de campo, é difícil estabelecer exatamente em que estágio fenológico uma pastagem se encontra, pois existem vários fatores que levam às variações no crescimento e desenvolvimento dos indivíduos (perfilhos) do estande (West, 1990). Assim sendo, as gramíneas forrageiras perenes raramente apresentam recomendações de manejo diretamente associadas a determinados estádios fenológicos, já que isso se mostra pouco prático, diferentemente do que ocorre com outras culturas. De forma geral, tanto para as *Brachiarias* quanto para as demais espécies forrageiras, costuma-se dividir o ciclo produtivo apenas em fase vegetativa e reprodutiva, sendo que o intuito de boa parte das práticas de manejo é o de manter a planta, o maior tempo possível, em seu estágio vegetativo, sendo que a passagem da planta para o estágio reprodutivo representa menores taxas de crescimento e queda nos indicadores qualitativos da forragem, incluindo a digestibilidade e o teor de proteína. Em função disso, existem poucos trabalhos dedicados ao estudo do desenvolvimento fenológico das gramíneas forrageiras perenes, principalmente relativos à sua aplicação no manejo e, obviamente, uma grande lacuna de conhecimento na área. Para as plantas forrageiras perenes, Moore (1990) propôs uma escala numerada para caracterizar o desenvolvimento das plantas (Tabela 1):

**Tabela 1. Fases de crescimento primário e secundário, índices numéricos e descrições para o crescimento e desenvolvimento de estandes de gramíneas perenes.**

Estádio	Índice	Descrição
<b>Germinação</b>		
G0	0.0	Semente seca
G1	0.1	Embebição

Estádio	Índice	Descrição
G2	0.3	Emergência da radícula
G3	0.5	Emergência do coleóptilo
G4	0.7	Mesocótilo e,ou, alongamento do coleóptilo
G5	0.9	Emergência do Coleóptilo do solo
<b>Folha: desenvolvimento vegetativo</b>		
VE ou V0	1.0	Surgimento da primeira folha
V1	$(1 / N) + 0.9 *$	Colarinho da primeira folha
V2	$(2 / N) + 0.9$	Colarinho da segunda folha
Vn	$(n / N) + 0.9$	Colarinho da enésima folha
<b>Colmo: desenvolvimento do colmo</b>		
E0	2.0	O início do alongamento do colmo
E1	$(1 / N) + 0.9$	Primeiro nó palpável - visível
E2	$(2 / N) + 0.9$	Segundo nó palpável - visível
En	$(n / N) + 0.9$	Enésimo nó palpável - visível
<b>Reprodutiva: desenvolvimento floral</b>		
R0	3.0	Emborrachamento
R1	3.1	Inflorescência emergência - 1ª espiguetas visível
R2	3.3	Espiguetas não totalmente emergidas - pedúnculo não emergido
R3	3.5	Inflorescência emergida - pedúnculo plenamente alongado
R4	3.7	Emergência da antera - antese da antera
R5	3.9	Fertilização pós-antese
<b>Desenvolvimento e maturação das sementes</b>		
S0	4.0	Cariopse visível
S1	4.1	Leite
S2	4.3	Massa macia
S3	4.5	Massa dura
S4	4.7	Endosperma duro - maturidade fisiológica
S5	4.9	Endosperma seco - sementes maduras

\*Onde  $n$  é o número de eventos (número de folhas ou nódulos) e  $N$  é o número de eventos no âmbito da fase primária (número total de folhas ou gânglios desenvolvidos). Na forma,  $P(n / N) - 0.1$ ,  $P$  é o número na fase primária (1 ou 2 para vegetativa e alongamento, respectivamente) e  $n$  é o número de eventos. Quando  $N > 9$ , a forma  $P + 0,9(n / N)$  deve ser usada.

O manejo da pastagem deve visar a uma boa produção de forragem, tanto em quantidade quanto em qualidade. Com práticas de manejo adequadas, é possível melhorar a qualidade da forragem oferecida aos animais. Para que isto seja possível, o manejo deve objetivar uma boa porcentagem de folhas e permitir um bom rebrote e, em certas condições, garantir uma associação com leguminosas, visando melhorar a dieta oferecida pela pastagem. Preconiza-se o período de descanso desse gênero em torno de 30 dias. Produz de 12 a 20 toneladas (t) de matéria seca (MS) por hectare por ano, com 9 a 11% de proteína bruta na forragem, digestibilidade in vitro de 50 a 60%. Em geral, os capins do gênero *Brachiaria* são bem aceitos por eqüinos, bovinos, ovinos e caprinos, não se verificando casos de fotossensibilização hepática em bezerros. Podem ser utilizados na forma diferida (pasto vedado), ensilada ou fornecida diretamente no cocho (Alves et al., 2008).

## 1.2 O gênero *Panicum*

O gênero *Panicum* é muito amplo, com grande variabilidade genética, diversas espécies e variedades. É originário da África Tropical, estendendo-se para o subtropical do continente Africano. Ocorre, normalmente, nas margens de florestas, em solos recém-desbravados e em locais com pouco sombreamento. Seu habitat abrange altitudes desde o nível do mar até 1800m (Jank, 1995). O gênero encontra-se espalhado por diversas zonas tropicais e subtropicais do mundo, ocupando vastas extensões e sendo ocasionalmente uma invasora de cultivos agrícolas. Algumas espécies são consideradas forrageiras (*P. maximum*, *P. antidotale*, *P. coloratum*, etc.), outras são cultivadas com o objetivo de produção de grãos (*P. miliaceum*, *P. pilosum*, *P. sumatrense*, *P. turgidum*) e duas espécies são invasoras de difícil controle (*P. repens*, *P. trichocladum*). No Brasil, destaca-se a espécie *P. maximum*, que apresenta ótima adaptação às condições edafo-climáticas brasileiras, tornando-se a espécie forrageira cultivada mais plantada no país antes do advento das *Brachiaris*.

As cultivares de *Panicum* estão entre as forrageiras tropicais mais cultivadas no país, tendo, em média, maior qualidade e potencial de produção que as cultivares de *Brachiaria*. Os *Panicum*, todavia, são mais exigentes em fertilidade do solo, especialmente no que diz respeito aos teores de fósforo e pH, e por isso têm sido destinadas principalmente à engorda de animais de corte e, ou, produção de leite. Essas espécies forrageiras são utilizadas em toda a região tropical da América Latina e sua boa produtividade, no verão, tem motivado a expansão de seu cultivo, inclusive em regiões subtropicais do Brasil e de outros países (Alves et al., 2008). A capacidade de utilizar, eficientemente, altas intensidades de luz associadas com a formação de clareiras na vegetação, desenvolvimento rápido e grande produção de sementes confere às plantas do gênero *Panicum* a classificação de plantas pioneiras (Dias-Filho, 1995). A notável adaptação dessas plantas aos tipos de solos e aos diversos tipos climáticos brasileiros, aliada à rápida substituição de áreas de floresta da América tropical por áreas de agricultura (Parsons, 1972), favoreceu a ampla disseminação das espécies de *Panicum* pelo Brasil. Além disso, atributos como elevadas taxas de crescimento, capacidade de suportar períodos de seca e boa qualidade da forragem produzida, chamaram a atenção de pecuaristas, que passaram a estabelecer grandes áreas de pastagens com capins do gênero *Panicum*, a partir da segunda metade do século XX (Aronovich, 1995).

O principal centro de origem dos capins do gênero *Panicum* é a África tropical (Parsons, 1972), sendo encontradas formas nativas até a África do Sul, em margens de florestas, como capim pioneiro, ocupando o solo recém-desmatado e em pastagens sob sombra rala de árvores. Existem controvérsias com relação à data e à forma de introdução de capins do gênero *Panicum* no Brasil. Segundo Parsons (1972), a introdução no Brasil, desses capins, bem como a de outras espécies de gramíneas africanas, se deu durante o período áureo do comércio de escravos africanos para as colônias americanas (século XVIII), quando sua palha era utilizada como cama nos navios negreiros. Outra versão atribui a introdução desses capins a Tomé de Sousa, no século XVI (Parsons, 1972).

Diversas foram as formas de introdução, no Brasil, de material genético do gênero *Panicum*, alguns trazidos da África, como é o caso do cultivar Aruana (Instituto de Zootecnia, 1989), outros desenvolvidos por outros países, como os cultivares Gatton e Hamil, lançados na Austrália (Jank, 1995),

e o Tobiãtã, lançado pelo ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération), na Costa do Marfim e, em seguida, pelo IAC (Instituto Agronômico de Campinas), no Brasil (Usberti Filho, 1982). Além disso, o convênio firmado em 1982 entre a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e o ORSTOM (Jank et al., 1994), detentor da mais ampla coleção do gênero, favoreceu grandes avanços no melhoramento genético do gênero *Panicum*, colocando-o em evidência. Jank (1995) descreveu a situação atual dos programas de melhoramento genético de gramíneas do gênero *Panicum* no Brasil. O caráter apomítico da reprodução da maioria das espécies de *Panicum* aumenta a importância da coleta de materiais nos centros de origem, a fim de garantir a variabilidade necessária (coleções de materiais que representem a variabilidade natural) aos programas de melhoramento genético.

Aronovich (1995) citou vários cultivares já lançados, porém atualmente em desuso, como o Colômbio (que já foi o mais plantado no país e, provavelmente, foi a forma como o gênero *Panicum* foi introduzido no Brasil, originário do oeste africano), o Búfalo, o Gatton Panic e o Green Panic (provenientes da Austrália), o Guiné, o Makueni (originário do Quênia) e o Sempre Verde. Em 1986 e 1988 foram lançados pelo IAC os cultivares Centenário e Centauro; em 1990 o Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados (EMBRAPA – CPAC) lançou o cultivar Vencedor. Também em 1990 foi lançado o cultivar Tanzânia-1, pelo Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (EMBRAPA – CNPGC). Em 1993, a mesma instituição lançou o cultivar Mombaça (Jank, 1995) e, mais recentemente, em 2001, foi lançado o cultivar Massai (Embrapa Gado de Corte, 2001). A falta de estudos aprofundados sobre as diferenças morfológicas, bastante enfatizadas por Jank (1995), e fisiológicas, entre os materiais lançados, sobre o impacto que tais diferenças têm na eficiência de utilização de recursos do meio e, em última instância, em produtividade, impede que ocorram avanços direcionados.

O elevado potencial produtivo dos capins do gênero *Panicum* tem sido amplamente documentado na literatura. Num levantamento feito com 18 variedades, na Costa do Marfim, foram encontradas produções de 24 a 38 toneladas por hectare ( $t\ ha^{-1}$ ) de MS. Em revisão da literatura, Herling et al. (2000) reportaram produções de verão de 7 a 24  $t\ ha^{-1}$  e de 0,8 a 7  $t\ ha^{-1}$ , no inverno. Braga (2001) encontrou resposta linear do cultivar Mombaça à adubação nitrogenada, com produções variando de 11 a 61  $t\ ha^{-1}$ , no verão, com 0 a 500  $kg\ ha^{-1}$  de N, respectivamente. Usando períodos de descanso do pasto de 28, 38 e 48 dias, Santos et al. (1999) relataram, para os cultivares Mombaça e Tanzânia, respectivamente, produções médias de 5,5, 8 e 9  $t\ ha^{-1}$  e 4,5, 6 e 7  $t\ ha^{-1}$  por período, de setembro a maio.

Pedreira e Rosseto (2002) reportaram acúmulos de forragem do capim Tanzânia, variando de 1,2 a 4  $t\ ha^{-1}$ , por período de rebrotação de 35 dias, durante o período das chuvas. Para o valor nutritivo da forragem, quando reportado para as mesmas condições (i.e. estado fisiológico), a variabilidade é pequena entre cultivares e até entre espécies e gêneros de gramíneas forrageiras tropicais, comparativamente às variações observadas entre idades fisiológicas (Euclides, 1995). Isso dificulta a comparação dos resultados reportados na literatura que, em sua maioria, resulta da análise da forragem colhida em idades fisiológicas distintas (maturidades ou tempos de rebrotação diferentes). Melhor valor nutritivo está normalmente associado à forragem colhida mais jovem, i.e., em períodos curtos de descanso entre colheitas ou pastejos sucessivos (Braga, 2001; Bueno, 2003).

Os capins do gênero *Panicum* são plantas perenes, de hábito cespitoso, atingindo de 0,5 a 4,5 m de altura. Seus colmos são eretos e podem apresentar de 3 a 15 nós, com ou sem pêlos. Suas folhas são lanceoladas, cujos comprimentos variam de 15 a 100 cm e atingem até 3,5 cm de largura. As inflorescências são dispostas sob a forma de uma panícula aberta, medindo 25 e 60 cm de largura e comprimento, respectivamente. Suas cariopses são pequenas, elípticas e com, aproximadamente, 2 mm de comprimento. Em geral, os cultivares de *Panicum maximum* se adaptam desde áreas com precipitações anuais de 650 a 800 mm (ex. Chaco paraguaio), até zonas com precipitações superiores a 3000  $mm\ ano^{-1}$  (região amazônica). O cultivo é normalmente restrito a áreas bem drenadas, porém existem cultivares tolerantes ao encharcamento, em fase final de avaliação por algumas empresas de produção de sementes, devendo ser disponibilizados ao mercado em 2 ou 3 anos. O *Panicum maximum* pode ser cultivado em solos arenosos ou argilosos, quando a fertilidade for corrigida. (Alves et al., 2008).

De forma geral, costuma-se dividir o ciclo produtivo apenas em fases vegetativa e reprodutiva. O intuito de boa parte das práticas de manejo é manter a planta em seu estado vegetativo, o maior tempo possível, uma vez que o estágio reprodutivo representa menores taxas de crescimento. Em função disso, existem poucos trabalhos dedicados ao estudo do desenvolvimento fenológico das gramíneas forrageiras perenes, principalmente em relação à sua aplicação no manejo e, obviamente, uma grande lacuna de conhecimento na área. Para as plantas forrageiras perenes, Moore (1990) propôs uma escala numérica para caracterizar o desenvolvimento, como se viu na Tabela 1.

### 1.3 O gênero *Cynodon*

O gênero *Cynodon* pode ser considerado um gênero pequeno, comparado aos outros gêneros de plantas forrageiras comumente usadas nas regiões tropicais, ainda mais quando se consideram apenas as espécies efetivamente usadas para a produção animal. A grande maioria das plantas do gênero *Cynodon* teve origem na porção leste da África Tropical (Quênia, Uganda e Tanzânia) e África Ocidental (Angola), ou na região dos atuais Paquistão e Turquia (Harlan, 1970); poucos exemplares são originários do sul da Ásia e ilhas do Pacífico Sul, existindo até mesmo genótipos coletados próximo ao círculo polar ártico. Dessa forma, esse grupo de capins apresenta uma grande capacidade de adaptação a diferentes ambientes, vegetando entre os paralelos 45°N a 45°S (Harlan e De Wet, 1969) a variadas altitudes e regimes hídricos. Atualmente existem genótipos de uso comercial (cultivares ou variedades) adaptadas às condições climáticas plenamente tropicais, de muito calor e umidade, e plantas adaptadas a regiões de clima temperado, sob condições de inverno muito severo, resistindo, inclusive, a geadas e a condições de solos congelados.

No Brasil, não existem registros precisos da época em que as plantas do gênero *Cynodon* foram introduzidas, sendo mais aceita a teoria segundo a qual a “grama seda” ou “grama bermuda comum” (*Cynodon dactylon* var. *dactylon*) tenha chegado à América com os conquistadores espanhóis, trazida na forma de feno para alimentar os animais oriundos da Europa (Maraschin, 1988) e, a partir daí, se disseminado, especialmente dada a sua alta produção de sementes. As três principais espécies empregadas como forrageiras, dentro do gênero, são: 1) a *Cynodon dactylon* (L.) Pers, denominada grama-bermuda, denominação originária dos EUA, decorrente do fato de as primeiras plantas da espécie, levadas àquele país, terem saído das ilhas Bermudas; 2) a *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst e, 3) a *Cynodon plectostachyus* (K. Schum) Pilg. Estas duas últimas são conhecidas coletivamente como gramas-estrela e seus híbridos. Combinadas e cruzadas tais espécies, existem cerca de dez cultivares de maior emprego como material forrageiro no Brasil.

Capins do gênero *Cynodon* apresentam, em condições tropicais, um elevado potencial de produção por animal e por área (Corsi e Martha Jr., 1998) e grande flexibilidade de manejo (Nussio et al., 1998). De maneira geral, as gramíneas *Cynodon* proporcionam elevada produção de matéria seca (superando 20 t ha.<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), de bom valor nutritivo, com médias ao redor de 11 a 13% de PB e de 58 a 65% de digestibilidade (Pedreira, 1996). Apresentam ainda distribuições estacionais de crescimento mais uniformes (proporção relativa da produção total no “inverno” e no “verão”) quando comparadas a outras espécies de interesse econômico no sudeste do Brasil (Pedreira e Mattos, 1981). Nas condições brasileiras, os capins *Cynodon* têm sido empregados principalmente em explorações leiteiras e para a produção de forragem conservada, marcadamente feno e, em menor escala, em explorações de gado de corte (Vilela e Alvim, 1998).

Pesquisa recente sobre os aspectos ecofisiológicos dos capins *Cynodon* tem demonstrado que os cultivares apresentam expressivas diferenças em relação à estrutura da vegetação, para uma mesma massa de forragem, o que interfere na capacidade de interceptar a luz incidente, de renovar a população de perfilhos e de resistir ao pastejo, possibilitando flexibilidade de uso ao manejador (Da Silva, 2005).

Assim como as outras espécies forrageiras perenes, as gramíneas do gênero *Cynodon* apresentam duas características produtivas básicas, diferentes das culturas agrícolas. Primeiro, têm ciclo de produção perene, i.e., teoricamente sem fim, caso o manejo e o ambiente sejam favoráveis. Segundo, a produção “colhível” é representada pela maior parte da porção aérea da planta, em contraste com os casos em

que um dreno metabólico principal é o que determina o índice de colheita. Esses fatores levam a grandes variações no estágio de crescimento e desenvolvimento dos indivíduos que compõem seu estande (perfilhos), o que torna difícil em condições de campo estabelecer exatamente em que estágio fenológico uma pastagem se encontra (West, 1990). Assim sendo, as gramíneas forrageiras perenes raramente apresentam recomendações de manejo diretamente associadas a determinados estádios fenológicos, já que isso se mostra pouco prático (Sanderson et al., 1997), diferentemente de outras culturas.

De modo geral, tanto para os *Cynodons* quanto para as demais espécies forrageiras, costuma-se dividir o ciclo produtivo apenas em fase vegetativa e fase reprodutiva, sendo intuito de boa parte das práticas de manejo o de manter a planta, o maior tempo possível, em seu estágio vegetativo, acumulando fitomassa de folhas, já que a passagem da planta para o estágio reprodutivo conduz a menores taxas de crescimento, condição indesejada na arquitetura e na estrutura do dossel. Adicionalmente, no estágio reprodutivo, observa-se um aumento da participação de colmos e uma diminuição da participação das folhas na massa colhível, além do direcionamento de nutrientes às sementes, concomitante à diminuição nas demais estruturas aéreas. Em função disso, existem poucos trabalhos dedicados ao estudo do desenvolvimento fenológico das gramíneas forrageiras perenes, principalmente no que tange à sua aplicação no manejo e, obviamente, uma grande lacuna de conhecimento na área. Para o gênero *Cynodon*, West (1990) propôs uma escala codificada (Tabela 2).

**Tabela 2. Fases de crescimento primário e secundário, seus índices numéricos e descrições para o crescimento e o desenvolvimento de estandes de gramíneas do gênero *Cynodon*.**

#### DESENVOLVIMENTO SEMINAL – (quando estabelecido por semente)

00	Semente seca
01	Semente túrgida de água
02	Radícula visível (emergido)
03	Coleópitilo visível (emergido)
04	Uma folha aberta (exposta)
05	Duas folhas abertas (expostas)
06	Três folhas abertas
07	Quatro folhas abertas
08	Cinco folhas abertas
09	Iniciação de gema axilar ou estolão

#### DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO – (quando estabelecido por mudas e ou alongamento dos internódios de perfilhos em estandes semeados já estabelecidos)

10	Novo perfilho sem nós perceptíveis
11	Uma zona nodal acima da base do perfilho
12	Duas zonas nodais acima da base do perfilho
...	
19	Nove zonas nodais acima da base do perfilho



### EMBORRACHAMENTO

- 20 Engrossamento da bainha da folha
- 21 Inflorescência enche 10% da bainha da folha bandeira
- 22 Inflorescência enche 20% da bainha da folha bandeira
- ...
- 29 Inflorescência enche 90 - 99% da bainha da folha bandeira

### EMERGÊNCIA DA INFLORESCÊNCIA

- 30 Pequena proporção de inflorescência emergida acima da gola da folha bandeira
- 31 Inflorescência 10% emergida
- 32 Inflorescência 20% emergida
- ...
- 39 Inflorescência 90 - 99% emergida

### ANTESE

- 40 Proporção de flocos em, ou, após a antese
- 41 10% de anteras emergidas
- 42 20% de anteras emergidas
- ...
- 49 90 - 99% de anteras emergidas

### MATURAÇÃO DA INFLORESCÊNCIA (processos diferentes em função da fertilidade floral)

- 50 Para genótipos com flocos estéreis, grau de perda de cor verde da inflorescência
- ...
- 60 Inflorescência completamente marrom ou senescida
- ...
- 50 Para genótipos com flocos férteis, grau de enchimento das sementes
- ...
- 60 Todas as sementes maduras e secas

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

As gramíneas (e outras famílias de plantas forrageiras) ocorrem naturalmente em áreas sujeitas a grandes variações climáticas, notadamente temperatura e precipitação. Todavia, sob condições de estresse climático, a produtividade pode ser muito baixa. Por isso, a exploração econômica de um dado recurso forrageiro está, freqüentemente, confinada a uma gama bem mais estreita de variações. À medida que se afastam de seus centros de origem, essas plantas precisam, cada vez

mais, ser manejadas com maiores “cuidados” para que persistam e sejam produtivas. Por exemplo, a inconsistência na sobrevivência de algumas gramíneas temperadas perenes freqüentemente restringe sua adaptação geográfica, enquanto que a distribuição da maioria das gramíneas tropicais é limitada pelos extremos das temperaturas mínimas de inverno (Teeri e Stowe, 1976).

Espécies forrageiras exploradas comercialmente são freqüentemente cultivadas em ambientes similares mas, ao mesmo tempo, distantes de seus centros de origem. No caso da porção leste e úmida, do continente americano (Américas do Norte, Central, e do Sul), praticamente todas as espécies forrageiras, de importância econômica, são oriundas de outras partes do mundo. Na tentativa de racionalizar sobre esse tópico específico, dentro do tema ecologia de plantas forrageiras, o conhecimento do clima e seus diferentes sistemas de classificação foi abordado por Child e Byington (1981) e por Snaydon (1991), que dividiram o globo em ecossistemas e a eles associaram as espécies forrageiras adaptadas e, portanto, adequadas à exploração econômica, num contexto de produção animal. Uma abordagem sistêmica desenvolvida na Suécia (Angus et al. 1983) para se estimar a produção forrageira, a partir de parâmetros ambientais conhecidos, envolve uma “função de crescimento ótimo”, que é o produto entre índices de radiação, temperatura e água. Portanto, como se esperaria, os fatores climáticos que determinam a adaptabilidade de uma espécie ou cultivar forrageiro, a uma dada região, são os que também determinam a sua produtividade (Snaydon, 1991).

A luz (ou radiação), a temperatura e a disponibilidade hídrica são os principais fatores climáticos (a estes somem-se os edáficos) que afetam o desenvolvimento vegetativo e o florescimento das espécies forrageiras.

Nas regiões tropicais e subtropicais, entre 30°S e 30°N, a temperatura e a deficiência hídrica são os principais fatores limitantes da produção de forragens (McDowell, 1972; citado por Rolim, 1994). A Tabela 3 apresenta indicações deste autor quanto à porcentagem da área total em que o crescimento das plantas é limitado por apenas um dos elementos ou pela associação dos dois.

**Tabela 3. Influência da temperatura e da precipitação pluviométrica no crescimento de plantas, em áreas situadas entre as latitudes 30°N e 30°S.**

Proporção da área onde o crescimento de plantas é limitado pela temperatura	Proporção da área onde o crescimento de plantas é limitado pela deficiência hídrica	Proporção da área onde o crescimento de plantas é limitado por temperatura e deficiência hídrica	Proporção da área onde o crescimento de plantas não é limitado pela temperatura e deficiência hídrica
36%	31%	24%	9%

## 2.1 Disponibilidade hídrica

Os padrões de disponibilidade hídrica (precipitação) e de evapotranspiração são, entre outros, determinantes na adaptação e na produtividade das espécies forrageiras (Turner e Begg, 1978). Além disso, a quantidade de água disponível às plantas depende da textura e profundidade do solo, além das características do sistema radicular, em termos de sua profundidade e superfície de absorção. Dentre os fatores que afetam a perda de água pela planta, a radiação solar é o principal, sendo a temperatura do ar, a umidade relativa e a velocidade do vento fatores influentes em menor escala.

A perda de água pela planta por transpiração é um processo inevitavelmente associado à fotossíntese. No entanto, o processo fotossintético é menos severamente prejudicado (i.e., responde com menor intensidade) pelo déficit hídrico do que outras variáveis de produção, como por exemplo o alongamento foliar (Wardlaw, 1969). Gramíneas  $C_4$  têm sua evolução associada a situações de restrição hídrica (Salisbury e Ross, 1992) e, por isso, fazem uso mais eficiente da água transpirada, no que diz respeito ao acúmulo de matéria seca. A maior resistência estomática ( $r_s$ ) à perda de água das espécies  $C_4$  faz

com que seu “gasto” na produção de matéria seca seja menor (250 ~ 350 g H<sub>2</sub>O por g de MS produzida) do que em C<sub>3</sub> (550 ~ 750 g H<sub>2</sub>O por g MS produzida) (Hay e Walker, 1989). São raros, na literatura, dados dessa natureza, específicos para espécies ou mesmo para grupos de forrageiras, mas produções agrônomicas da ordem de 15 a 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> indicam, do ponto de vista fisiológico, uma exigência hídrica da ordem de 525 a 700 mm ano<sup>-1</sup>. Na prática, considerando-se as perdas, seja em condições de precipitação natural ou de irrigação, valores da ordem de 1000 a 1200 mm ano<sup>-1</sup> parecem ser razoáveis para sistemas intensivos de produção de forragem usando espécies C<sub>4</sub>, embora valores mais exatos, para otimização de sistemas de irrigação de pastagens, ainda sejam escassos sobre o assunto.

O gênero *Brachiaria* ocorre em locais de clima quente e úmido, desde o nível do mar até 3000 m de altitude, e se adapta a índices pluviométricos de 500 a 4000 mm ano<sup>-1</sup>, em ambientes abertos e semi-sombreados. Existe uma grande lacuna de conhecimento de parâmetros específicos para o manejo da irrigação em *Brachiaris*. Índices com k<sub>c</sub> e k<sub>y</sub> ainda não foram corretamente determinados, assim como as características de seu sistema radicular em condições específicas de solo. Assim sendo, o que se pode usar como referência para a irrigação de *Brachiaria* são valores bastante genéricos, como a concentração do sistema radicular nos 20 cm superficiais do solo (aproximadamente 80% do total) e de quase a totalidade das raízes, até 1 m de profundidade.

Existem poucos estudos específicos sobre as relações hídricas em gramíneas *Cynodon*. De forma genérica, o que se tem como referência é que as do grupo “bermuda” são relativamente adaptadas às condições de restrição hídrica (Sollenberger, 2008), ao passo que as do grupo “estrela” se adaptam melhor a locais com mais de 800 mm anuais (Mislevy et al., 1989). É importante lembrar que, sabidamente, diferentes cultivares apresentam níveis variáveis de adaptação a excesso ou a déficit hídrico, sendo os valores mencionados apenas um indicativo.

A disponibilidade hídrica, além de influenciar de maneira positiva ou negativa a produtividade do capim, conforme demonstrado por Rassini (2004), também altera a resposta produtiva das plantas em relação ao aproveitamento dos nutrientes advindos das adubações, principalmente o N. Marcelino et al. (2003) estudaram quatro tensões hídricas (35, 60, 100 e 500 kPa) e cinco doses de N (0 - Testemunha, 45, 90, 180, 360 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas ao capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.), e mediram a impressionante produtividade máxima de 41,8 t ha<sup>-1</sup> na tensão de 35 kPa, com 360 kg de N, contra a mínima de 17,3 t ha<sup>-1</sup>, na tensão de 100 kPa, sem N. Ainda nessa linha de estudo, Fernandez et al. (1986) obtiveram respostas para Coastcross (*Cynodon dactylon* L. Pres.) irrigado até a dose de 675 kg ha<sup>-1</sup> de N na época chuvosa e, até a dose de 225 kg ha<sup>-1</sup>, na seca. Mesmo com irrigação no período seco, o potencial de produção da forrageira foi limitado, provavelmente devido a fatores climáticos, como luminosidade e temperatura.

## 2.2 Temperatura

As vias metabólicas das plantas, tais como fotossíntese e respiração, são catalisadas por enzimas, e a temperatura é um dos principais fatores que controlam as taxas com que esses e outros processos, mediados por enzimas, ocorrem na planta. A respiração, que fornece a energia necessária ao crescimento e outros processos metabólicos, é fortemente influenciada pela temperatura (Volenc et al., 1984). Taxas de crescimento e acúmulo de matéria seca, além de diversos outros processos, variam, inclusive, sob a influência do regime diário de temperatura e de sua alternância entre o dia e a noite (Cooper e Tainton, 1968).

Idealmente, as temperaturas durante o dia devem ser ótimas para a fotossíntese e o acúmulo líquido de forragem, enquanto à noite as temperaturas mais baixas conservariam energia através da redução do metabolismo respiratório.

A temperatura “ótima” depende do estágio de desenvolvimento da planta (mais baixa para crescimento vegetativo do que para reprodutivo), bem como da parte da planta em consideração (mais baixa para sistema radicular do que para parte aérea). Espécies forrageiras do grupo C<sub>3</sub> (temperadas) têm sua temperatura ótima para produção ao redor dos 20°C, mas ainda acumulam alguma matéria seca até perto de 0°C. A faixa ótima para as espécies C<sub>4</sub> (tropicais) situa-se entre 30 e 35°C com, virtualmente, nenhuma produção sendo observada abaixo de 15 °C (Cooper e Tainton, 1968).

A temperatura afeta a produção de forragem através de seu efeito sobre os processos de divisão (mitose) e expansão celular. Esse efeito é, todavia, variável de acordo com a espécie e hábito de crescimento. Por exemplo, em espécies que apresentam alongamento prematuro dos colmos, devido à elevação do meristema apical (como muitas das dicotiledôneas e algumas gramíneas cespitosas de porte alto), as taxas de acúmulo estão relacionadas com a temperatura do ar. Já nas gramíneas de porte baixo e crescimento rasteiro (como é o caso das espécies do gênero *Cynodon*, algumas *Brachiarias* como a *B. decumbens*, e os raros *Panicums* de porte “baixo” como os cultivares Massai e Aruana), o meristema apical está quase sempre próximo ao solo, especialmente durante a fase vegetativa, fazendo com que o crescimento e desenvolvimento da parte aérea sejam mais influenciados pela temperatura do solo (Nelson e Volenec, 1995). Além disso, a adaptação das espécies forrageiras está intimamente relacionada com os regimes de temperatura e, mais do que a base fisiológica para a separação das espécies forrageiras em temperadas e tropicais, explica as diferenças nas respostas à temperatura dentro de gêneros (*C. dactylon* vs. *C. nlemfuënsis*, por exemplo) e mesmo dentro de determinada espécie (cultivares de *C. dactylon*). É interessante ressaltar que respostas fotossintéticas e produtivas à temperatura estão correlacionadas dentro de espécies, o que ilustra a íntima relação entre as atividades de fonte (fotossíntese) e dreno (crescimento) metabólicos. O crescimento é, em geral, mais sensível às temperaturas baixas do que a fotossíntese, o que pode permitir o acúmulo de fotoassimilados em órgãos de reserva quando o crescimento é reduzido. A respiração é extremamente responsiva à temperatura e, temperaturas altas podem restringir o acúmulo de reservas, taxas de crescimento e acúmulo de forragem, além da própria sobrevivência da planta forrageira.

No caso dos capins dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*, as temperaturas do verão agrostológico do Brasil central não são limitantes à produção de forragem. Em latitudes maiores que 25°S, pode haver o efeito de período de crescimento reduzido em comparação com áreas mais ao norte, onde as temperaturas amenas de inverno podem até justificar economicamente operações irrigadas de produção de forragem sob pastejo ou corte (feno, silagem, pré-secado). Em casos de invernos mais rigorosos, com ocorre em áreas de clima do tipo Cf, espécies não-rizomatosas (como *C. nlemfuënsis* ou *C. aethiopicus* no caso dos *Cynodons*) podem ter sua persistência comprometida com o decorrer das estações de crescimento (i.e., ao longo dos anos), pois o vigor de rebrotação, no início de cada estação subsequente, é cada vez menor e a competição com eventuais espécies invasoras desfavorecida. Isso é especialmente verdadeiro em áreas sujeitas à geadas, onde a contribuição da parte aérea remanescente durante o inverno é pequena ou nula, e as plantas têm que iniciar o crescimento de primavera a partir de energia armazenada em rizomas na forma de carboidratos não-estruturais (notadamente o amido, nas espécies forrageiras  $C_4$ ). As rizomatosas, por sua vez, podem apresentar diferenças genéticas que lhes confirmam diferentes habilidades de vegetar fora da zona de temperatura ótima (verão), como é o caso dos *C. dactylon*, cultivares ‘Midland’ e ‘Tifton 44’, lançadas no mercado justamente devido às suas características de adaptação aos invernos mais rigorosos do sudeste dos EUA (30 ~ 35°N) e, principalmente, por suas características de rápido crescimento no início da estação (primavera), quando comparadas a outros cultivares da mesma espécie, também rizomatosos.

Geralmente a temperatura é o fator que exerce maior influência sobre o valor nutritivo das plantas, alterando a produção e a distribuição de fotoassimilados entre raiz e parte aérea. Cooper e Tainton (1968) reportaram que o crescimento da raiz aumenta com a diminuição da temperatura e o crescimento da parte aérea é favorecido sob temperaturas mais elevadas. Sob altas temperaturas, ocorre intensa conversão de fotoassimilados em compostos estruturais, influenciando a proporção relativa de folhas e colmos, e a morfologia da planta. Temperaturas desfavoráveis (muito altas ou muito baixas) alteram o plastocrono, promovendo mudanças na morfologia das folhas relacionadas com o tamanho e o número de células. Altas temperaturas também promovem a maturação de tecidos e, portanto, as folhas e colmos têm maior digestibilidade quando crescem em temperaturas mais amenas. Baixas temperaturas, por períodos prolongados, afetam a pressão de turgor, o alongamento e a divisão celular (Pollock, 1990), reduzindo o declínio na digestibilidade da forragem com o desenvolvimento da planta, durante os meses mais frios do ano (Wilson, 1982).

As temperaturas mínima e máxima que limitam o crescimento das plantas recebem a denominação de temperatura base inferior e temperatura base superior, respectivamente, sendo que a temperatura base (TB) é definida por McWilliam (1978) como a temperatura que limita o acúmulo de massa de uma espécie, de forma que este se torne nulo ou “desprezível”. Poucas são as referências para temperaturas base superiores para gramíneas tropicais. O limite inferior pode ser atingível nas áreas tropicais, principalmente em áreas de maior altitude, e nas regiões de maior latitude, durante períodos específicos do ano (inverno agrostológico, normalmente de maio a setembro). Seu conhecimento permite zonear áreas de produção efetiva para as espécies cultivadas, determinando a eficiência do emprego de tecnologias como a irrigação.

Em trabalho com cinco cultivares de *Brachiaria* (*B. decumbens* cv. Basilisk e as *B. brizantha* cvs. Marandu, Xaraés, Arapoty e Capiporã), Lara (2007) calculou valores de 17; 16,3; 16,9; 16,3 e 17,1 °C para TBi dos cinco capins, respectivamente. Os cultivares de *Brachiaria* em uso no Brasil, até o momento, são plantas pouco tolerantes a baixas temperaturas, não sendo indicadas para regiões onde ocorrem geadas fortes e, ou, frequentes. A temperatura ótima para o desenvolvimento das plantas de *Brachiaria* é de aproximadamente 30°C e, temperaturas inferiores a 25°C, reduzem a sua taxa de crescimento.

Para o gênero *Panicum*, Mello et al. (2001) encontraram reduções na taxa máxima de fotossíntese foliar de *P. maximum* cv. Tanzânia em temperaturas acima de 35°C, o que está dentro da faixa de valores ótimos reportada por Cooper e Tainton (1968) para espécies forrageiras tropicais. Valores de TBi de 16,2; 15,6; 17,5; 17,5 e 17,1 °C foram calculados por Moreno (2004) para os cultivares Atlas, Massai, Tobiatã, Mombaça e Tanzânia, respectivamente. Os cultivares de *Panicum*, em uso no Brasil, até o momento, também são pouco tolerantes a baixas temperaturas, não sendo indicadas para regiões onde ocorrem geadas.

No grupo dos capins *Cynodon*, os centros de origem localizados em latitudes maiores conferem, a alguns cultivares comerciais, adaptação a temperaturas mais baixas do que em *Brachiaria* e *Panicum*. Dentre os cultivares em uso no Brasil, existem os de baixa tolerância às condições de frio extremo ou geadas, como Tifton 68, Coastcross, Jiggs, Florico e Florona, além das diversas gramas-estrela. Há também aqueles que são mais tolerantes a baixas temperaturas, como os cultivares Florakirk, Tifton 78 e Tifton 85. Para essas plantas, Sakai e Larcher (1987) citam que a temperatura que causa morte de 50% das folhas se situa entre -3 e -7 °C. Trabalhando com Tifton 85, Estrela, Coastcross, Florico e Florona, Tonato et al., (2004) calcularam valores de TBi de 16,9 °C para Tifton 85, passando para 16,3°C para Estrela, até 15,3 °C para os três demais, em uma amplitude razoavelmente grande para plantas pertencentes ao mesmo gênero. Essas diferenças de valores podem explicar, em parte, as diferenças na distribuição estacional da produção dessas plantas, já que as de maior TBi se mostraram mais estacionais, ao passo que as de menor TBi distribuíram melhor a sua produção, indicando, mais uma vez, os efeitos da seleção imposta sobre os materiais selecionados ou cruzados (seja por seleção natural ou advinda de programas de melhoramento).

## 2.3 Radiação solar

As respostas das plantas à radiação solar podem ser divididas entre aquelas relativas à (1) qualidade, (2) densidade e (3) duração. Em condições de campo, esses três fatores estão frequentemente relacionados, sendo que, por exemplo, a densidade da radiação é normalmente maior na mesma época do ano em que a duração também é maior. Isso torna difícil a racionalização das relações causa-efeito entre cada fator individual e a resposta produtiva das espécies forrageiras.

A qualidade da luz refere-se ao comprimento de onda da radiação incidente ou, mais comumente, das diferentes radiações presentes no espectro da luz solar. Apesar de terem evoluído em áreas marginais de florestas, as espécies de plantas forrageiras (e, em especial as tropicais) são bem adaptadas a ambientes de alta luminosidade. O desenvolvimento vegetal é melhor sob todo o espectro solar do que sob qualquer parte isolada do espectro. Por exemplo, plantas que crescem sob condições de ondas longas (radiação infravermelha > 700 nm), normalmente assumem um crescimento estiolado, tornando-se altas, finas, e frágeis, como se tivessem crescido à sombra. Por outro lado, plantas que crescem apenas sob radiação de ondas curtas (ultravioleta < 400 nm) podem ter o desenvolvimento retardado, bem como danos aos tecidos, chegando, em alguns casos, à morte. A proporção da radiação total correspondente

ao infravermelho é maior no inverno que no verão e, respostas diferentes entre espécies ou cultivares de um mesmo gênero, podem estar relacionadas às diferenças nas respostas à radiação infravermelha entre essas espécies ou cultivares. Não há, todavia, evidência nesse sentido na literatura e, mais freqüentemente, diferenças de estacionalidade de produção de forrageiras tropicais têm sido associadas a diferenças nas respostas das plantas à temperatura. Apesar disso, sabe-se que, em maiores altitudes, o porte médio da vegetação é menor, em parte devido ao fato de que menos radiação UV é removida pela atmosfera, chegando, portanto, mais UV à planta. Os comprimentos de onda correspondentes à luz visível (400 a 700 nm) são os que mais afetam a fotossíntese, especialmente aqueles correspondentes ao azul e ao vermelho. Para os comprimentos de onda situados fora da faixa da luz visível, tem-se o controle de alongação dos colmos das gramíneas e a diferenciação para florescimento mediada pelo fitocromo, entre 700 e 800 nm e, acima de 800 nm, apenas produção de calor, cujo principal efeito para a planta é maior perda de água por transpiração. Abaixo de 400 nm os efeitos vão desde plantas mais baixas que o normal, com folhas mais espessas (radiação UV-A, entre 400 e 320 nm), passando por danos ao DNA e mutações (radiação UV-B, entre 320 e 280 nm), chegando aos efeitos extremamente danosos das radiações mais curtas (< 280 nm), causando morte rápida às plantas.

A densidade de radiação recebida por uma planta ou uma comunidade de plantas (por exemplo, uma pastagem) pode ser da ordem de 2000 micromol de ftons  $m^{-2} s^{-1}$  num dia claro de verão, ou até mais nas regiões tropicais. Isso é particularmente relevante para gramíneas tropicais, de metabolismo fotossintético  $C_4$  (cujas folhas individuais, em condições ideais, não se saturam de luz) que têm potencial elevado de utilização da radiação solar. Mesmo em condições de dossel, onde as relações luminosas são bem mais complexas do que quando se estuda a resposta de folhas individuais, quando o suprimento de água e nutrientes minerais é adequado, as taxas de crescimento e acúmulo de forragem (produção) são funções diretas da densidade da radiação incidente. Apesar da área foliar necessária para uma ótima interceptação da radiação incidente depender de outros fatores da arquitetura do dossel, como ângulos foliares, a taxa de acúmulo de forragem, após a desfolhação por corte ou pastejo, é mais dependente da interceptação luminosa do que das taxas fotossintéticas por unidade de área foliar. Quando o estabelecimento de pastagens é feito com cultura acompanhante, o espaçamento entre linhas da cultura é geralmente aumentado, o que não impede que uma menor velocidade de estabelecimento do capim seja observada, se comparado ao estabelecimento em pastagem exclusiva, em virtude da menor densidade de radiação disponível à gramínea em crescimento. A literatura é escassa em relatos sobre as necessidades de espécies forrageiras em termos de energia luminosa, mas sabe-se que, para gramíneas  $C_4$  de maneira geral, a eficiência de conversão (de energia radiante interceptada para energia química nos tecidos vegetais) é da ordem de 5 a 6 % (Cooper, 1970).

Trabalho realizado por Burton et al., (1959) com capim bermuda [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] cv. Coastal, um cultivar atualmente inexpressivo no Brasil, indicou que essa planta é muito sensível às variações de intensidade de luz, pois a produtividade caiu conforme diminuiu a disponibilidade de luz (Tabela 4). O capim Tifton 68 cultivado em condições de sol pleno foi muito mais produtivo do que sob o sombreamento por árvores em um sistema silvi-pastoril (Carvalho et al., 2002).

**Tabela 4. Influência da intensidade luminosa sobre o crescimento e a produção de *Cynodon dactylon* cv. Coastal.**

Disponibilidade de luz (%)	Acúmulo de forragem (t ha. <sup>-1</sup> )	Raízes e rizomas (t ha. <sup>-1</sup> )
100,0	15,5	5,17
64,3	14,1	3,51
42,8	10,6	3,44
28,8	8,1	2,39

## 2.4 Fotoperíodo

Além do papel da energia luminosa no processo fotossintético, a duração dos períodos de luz e escuro (que variam conforme a latitude e a estação do ano), durante as 24h do dia, também pode influenciar o desenvolvimento da planta. A maioria das espécies forrageiras é sensível a fotoperíodo, embora as respostas possam ser modificadas por outros fatores climáticos, principalmente a temperatura e a disponibilidade de água.

Em geral, plantas forrageiras de clima temperado (gramíneas e leguminosas) são chamadas “de dias longos”, pois requerem períodos de luz mais longos que determinado número de horas (na verdade, requerem períodos de escuro mais curtos que um determinado número de horas, pois é o comprimento de período de escuro que regula as respostas fotoperiódicas), enquanto nas espécies tropicais a resposta ao fotoperíodo é pequena ou inconsistente.

Muitas espécies tropicais têm seu florescimento controlado por mecanismos mais complexos (em muitos casos relacionados com fenologia e maturidade fisiológica) e são ditas “neutras” com relação às suas respostas às variações nos comprimentos de dias e noites.

Fica claro que a importância do fotoperiodismo é maior quanto maior for a significância fisiológica e agrônômica do processo reprodutivo (florescimento). Quando a produção de sementes é objetivo declarado da operação, condições devem ser conhecidas e fornecidas para que o florescimento ocorra. Por outro lado, quando não houver interesse no processo reprodutivo (como freqüentemente é o caso das espécies forrageiras onde normalmente o interesse é colher forragem jovem no estágio vegetativo, ou ainda nos casos em que a espécie é de propagação exclusivamente vegetativa, pois não produzem sementes, sendo esse o caso dos *Cynodons* híbridos), a diferenciação dos meristemas apicais acarretará no alongamento desvantajoso dos colmos (diminuindo a relação folha/colmo e, na maioria dos casos, o valor nutritivo da forragem) e, talvez em menor escala, na mobilização de fotoassimilados para as inflorescências, diminuindo, assim, o nível de reservas orgânicas em estolões, rizomas e base da planta. Sob determinadas circunstâncias, essas reservas são de vital importância para a persistência e perenidade de pastos de certas espécies.

Avaliando a relação entre os fatores climáticos determinantes da produtividade das plantas do gênero *Cynodon*, Burton et al. (1988) quantificaram a influência da temperatura, fotoperíodo e radiação solar na produtividade do cv. Coastal colhido em intervalos de 24 dias durante um período de três anos, e mostraram que os fatores que melhor se correlacionaram com a produtividade foram o fotoperíodo ( $r = 0,95$ ) e a radiação solar ( $r = 0,93$ ), o que explicaria as baixas produtividades obtidas no outono, quando esses fatores de crescimento são muito restritos.

A idéia de que o fotoperíodo é um dos principais determinantes da distribuição estacional da produção, ao longo do ano, é reforçada pelo trabalho de Sinclair et al. (2003), em que o aumento do comprimento do dia para 15 horas, durante os meses de dias curtos, alterou a distribuição estacional da produção dos capins *Cynodon* cvs. Tifton 85, Florakirk e Florona, que se mostraram mais produtivos sob dias mais longos. Os autores fizeram, no entanto, uma ressalva no sentido de que Florakirk e Florona foram menos sensíveis às alterações no fotoperíodo, alterando proporcionalmente menos a sua produção com o incremento do fotoperíodo, o que se deve, possivelmente, à seleção dessas plantas em seu programa de melhoramento para melhor distribuição da produção ao longo do ano e isso, por sua vez, teria como consequência menor sensibilidade deste cultivar ao comprimento do dia.

## 2.5 Vento

A pastagem, como cultura, é pouco afetada pelo vento, a não ser no que diz respeito a possíveis impactos no padrão de trocas gasosas e, ou, na susceptibilidade a agentes patogênicos que porventura possam se beneficiar de microclimas específicos no estande forrageiro, como em situações de alta umidade que possam favorecer o desenvolvimento de fungos. Não há, todavia, na literatura, registros relevantes sobre o efeito do vento sobre os aspectos produtivos das pastagens.

Em determinadas situações, o vento pode ser um auxiliar na produção de forragem conservada, quando o processo de conservação requer uma etapa de desidratação total (no caso de produção de feno, onde o teor de umidade final é de cerca de 12-15%) ou parcial (no caso de pré-secado, onde a forragem cortada é parcialmente desidratada no campo até atingir 30-35% de umidade e, em seguida, ensilada para que haja fermentação). Nesses casos, a movimentação do ar pode auxiliar a etapa de desidratação, encurtando a duração do processo (Reis et al., 2005).

O vento pode ainda causar o acamamento de plantas em pastagens de porte médio a alto, o que pode originar perdas de forragem no processo de colheita mecânica, ou ainda dificultar a colheita por animais em pastejo.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuva intensa

Devido ao fato de não haver um dreno metabólico principal a ser colhido (e.g., frutos, grãos), os efeitos da chuva e do granizo sobre as pastagens se limitam a possíveis danos à massa a ser colhida por corte ou pastejo, especialmente no caso de danos mecânicos à superfície foliar.

Chuva intensa pode gerar situações de perdas de forragem, especialmente se ocorrer ao final de um ciclo de rebrotação, próxima do momento do corte ou do pastejo e, mais intensamente, se houver impedimento à drenagem adequada do solo. Nesses casos, solos saturados ou alagados podem magnificar os danos por pisoteio por parte dos animais e, ou, pelo rodar de maquinário pesado. Além disso, o predomínio de alta umidade pode favorecer o aparecimento de doenças fúngicas, como *Helminthosporium spp.*, *Rhizoctonia spp.*, e *Puccinia spp.* Em anos recentes, tem sido registrado o fenômeno da “morte do braquiário” (Souza et al., 2000), recentemente atribuída à ação oportunista de fungos dos gêneros *Fusarium*, *Rhizoctonia* e *Pythium* após situações de encharcamento temporário, que debilitariam as plantas (Dias-Filho, 2005).

Condições de excesso de água no solo levam à diminuição no crescimento das plantas e até ao murchamento e posterior morte das mesmas, em decorrência de alterações em vias metabólicas pela ausência parcial ou total de  $O_2$  (hipóxia ou anóxia) que fazem com que toxinas sejam acumuladas, pois, sem  $O_2$ , ao invés de formar água e  $CO_2$ , como produtos finais da fotossíntese, formam-se etanol, aldeídos e ácidos orgânicos (Rodrigues et al., 1993).

#### 3.2 Seca e veranico

Os padrões de distribuição estacional de chuvas, o total da precipitação e a demanda evapotranspirativa afetam a disponibilidade hídrica e a adaptação das espécies forrageiras a um determinado local. Adicionalmente, a disponibilidade de água no solo depende da textura e da profundidade das raízes das plantas e sua perda de água (transpiração) é impulsionada pela radiação solar.

Em decorrência de muitos de seus centros de origem se localizarem em regiões de vegetação rasteira ou herbácea no continente africano, biomas sabidamente com marcadas épocas de déficit hídrico, os principais capins usados hoje na pecuária brasileira podem ser considerados tolerantes à deficiência hídrica, desde que essa não ocorra por um período muito prolongado. Ser tolerante, no entanto, se refere exclusivamente ao fato de a planta não morrer com a ocorrência das secas, mantendo um estande mínimo, capaz de rebrotar com a ocorrência de novas chuvas, e não de se manter produtiva ao longo do período seco. Em outros casos, a literatura se refere à capacidade do estande em se recuperar na medida em que permanecem viáveis muitos pontos de crescimento (gemas basilares e meristemas), e existe energia disponível ao início da rebrotação (na forma de carboidratos armazenados em rizomas, estolões, e bases dos colmos) assim que a condição hídrica deixar de ser limitante. Assim sendo, a “tolerância” se configura em um atenuante do problema, mas não o soluciona completamente, pois períodos esporádicos de falta de chuva, como os veranicos ou períodos mais prolongados, como as secas, também diminuem o acúmulo de massa “colhível” (i.e., acima da superfície do solo) dos capins tropicais.



Em função do grande número de cultivares existentes, hoje à disposição dos produtores, é difícil fazer generalizações a respeito dos efeitos do déficit hídrico, já que, mesmo dentro de um mesmo gênero ou espécie, existem plantas com diferentes níveis de tolerância. De forma geral, o que se constata é que a deficiência hídrica influencia todos os aspectos do crescimento dos capins, mudando sua anatomia, fisiologia e bioquímica (Rodrigues et al., 1993). Os estômatos, que são pequenos poros na superfície das folhas, se abrem durante o dia e permite que o CO<sub>2</sub> seja difundido no interior das folhas para o processo fotossintético. Entretanto, a maior parte da água que é transpirada também passa pelos estômatos, que se fecham durante a noite, reduzindo as perdas. Desse modo, a perda de água do solo diretamente pela evaporação e a transpiração das plantas dependem diretamente do montante de água no solo e da incidência da radiação solar. É por isso que plantas em solos secos, em dias frios, podem estar sob estresse menor que plantas crescendo num ambiente mais úmido, porém com altas temperaturas. A temperatura do ar, a umidade relativa e os ventos fortes têm menor efeito que a radiação no uso da água pelas plantas.

Quando a deficiência hídrica é severa, o crescimento das folhas cessa, as folhas curvam sua superfície, diminuindo a área de exposição ao sol, os estômatos se fecham para evitar a perda de água e a fotossíntese e a transpiração diminuem, marcadamente. Simultaneamente, a evapotranspiração de água da planta, para arrefecimento de seus tecidos, também é paralisada, levando ao aumento da temperatura e ao concomitante aumento da taxa respiratória, que consome os carboidratos de reserva, podendo comprometer a rebrotação subsequente (Volenc e Nelson, 2003). Em períodos de déficit moderado, como na maior parte dos veranicos, os prejuízos à produção das plantas e à sobrevivência são menores, já que, apesar de a expansão celular ser diminuída em decorrência da menor pressão de turgor das células, a multiplicação celular não cessa, permitindo que haja um crescimento compensatório com o restabelecimento dos níveis de água no solo (Santos et al., 2004).

Em boa parte do território brasileiro, a falta de chuvas no período seco do ano é o principal fator determinante da estacionalidade de produção dos capins, justificando o investimento em irrigação em regiões como a Centro-Oeste e Nordeste, e não em outras como o centro-Sul e o Sudeste, onde as temperaturas baixas do inverno compõem uma condição limitante ainda mais severa (Weigand et al., 1998; Pinheiro, 2002).

### 3.3 Vento intenso

Os efeitos deletérios do vento intenso sobre a produção das pastagens aparentemente se resumem no que foi reportado em 2.5. Não há, na literatura, dados que permitam quantificar objetivamente as possíveis perdas na produção de forragem devidas a ventos intensos.

### 3.4 Geadas

Temperaturas muito baixas ou próximas ao ponto de congelamento podem causar danos em muitas espécies de plantas, afetando suas membranas e o metabolismo celular, incluindo aí as espécies forrageiras tropicais. A translocação de fotoassimilados dos cloroplastos e de células do mesófilo (fontes) aos meristemas (drenos), requer energia proveniente de açúcares do floema. Após a exposição noturna de algumas plantas C<sub>4</sub> a temperaturas menores que 15°C, pode ocorrer a redução na translocação de fotoassimilados das folhas, devida à permanência do amido nos cloroplastos, num efeito “feedback” negativo. Isso diminui a capacidade fotossintética subsequente das plantas, ainda que no dia seguinte a temperatura diurna esteja próxima da ótima, acarretando a diminuição da assimilação de carbono e conseqüente redução nas taxas de crescimento. Isso tem sido reportado para várias espécies forrageiras de clima tropical, embora a maioria das leguminosas e gramíneas de clima temperado (C<sub>3</sub>) não apresentem esse tipo de sensibilidade às baixas temperaturas. As razões para a ausência de sensibilidade incluem a habilidade das espécies em alterar as estruturas da membrana rapidamente, mantendo as suas funções, além de acumular frutanas e armazenar carboidratos nos vacúolos das células (Volenc e Nelson, 2003), diferentemente do que fazem as espécies tropicais.

Durante o inverno, em algumas regiões onde baixas temperaturas são comuns, os danos podem ser causados pela ocorrência de geadas, promovendo o congelamento dos tecidos, principalmente das folhas. A capacidade de cultivares forrageiros de resistir a invernos rigorosos tem sido dada apenas pela sua adaptabilidade às regiões de clima frio, algo que está associado aos seus respectivos centros de origem. Atualmente existem poucos avanços na seleção de cultivares que apresentem menores danos devido ao congelamento. Geadas são consideradas problemáticas para plantas forrageiras em regiões onde a temperatura no inverno flutua ao redor ou abaixo de 0°C e em locais onde as plantas forrageiras são cultivadas em solos mal drenados e de textura argilosa. A água líquida expande cerca de 10% em volume quando passa para o estado sólido, o que pode causar a expansão e o relaxamento vertical de um solo com grande quantidade de água. Esse fenômeno pode danificar o sistema radicular das plantas ou causar a morte dos pontos de crescimento (gemas e meristemas normalmente próximos do nível do solo, e que ficam normalmente protegidos), os quais se elevam acima do nível do solo pela expansão e contração do mesmo, deixando-os expostos a baixas temperaturas e à desidratação. Plantas com sistema radicular ramificado sobrevivem melhor nessas condições que plantas com sistema radicular pivotante, pois tendem a se mover para cima e para baixo, acompanhando a expansão do solo (Volenc e Nelson, 2003).

Espécies de forragens se diferenciam por sua habilidade em resistir a baixas temperaturas, diferenças essas que também podem existir dentro da mesma espécie. A sobrevivência de algumas espécies de plantas forrageiras, durante o inverno, dependem da sua habilidade em produzir ou alterar certos metabólitos no interior das células. Essa capacidade é inerente à sua constituição genética e a cada inverno, características de resistência selecionadas naturalmente pelas plantas. Pode ocorrer, por exemplo, aumento na concentração de compostos, tais como proteínas e carboidratos, que não são facilmente congelados e se acumulam durante o outono, conforme a temperatura cai. Solutos que atuam como controladores osmóticos, tais como K<sup>+</sup>, aminoácidos e sacarose acumulados na água livre dentro das plantas, podem reduzir o ponto de congelamento de zero para -3° C. As concentrações de polissacarídeos, como frutanas e amido nas células do colmo e das raízes, diminuem durante a aclimação e estes podem ser usados como fonte de sacarose. Os lipídios da membrana mudam de estrutura durante a aclimação ao frio para assegurar que permaneçam fluidos, contribuindo para a estabilização das proteínas vinculadas às membranas. A resistência às baixas temperaturas no inverno também envolve alterações fisiológicas. Em algumas plantas, células de raízes e pontos de crescimento são desidratadas, reduzindo o montante de água nos tecidos, evitando a formação de gelo dentro das células, o que seria fatal.

Propriedades de fertilidade do solo são importantes para o crescimento das plantas durante o verão, sendo dois os nutrientes mais importantes, o N e o K. O estímulo ao crescimento promovido pela adubação com N durante o período de aclimação reduz a resistência ao frio, efeito que pode ser reduzido, em parte, com a aplicação de K. Estudo com capim Coastcross, sob quatro níveis de N (0, 45, 90 e 180 kg ha.<sup>-1</sup>) e quatro de K<sub>2</sub>O (0; 22,5 ; 45 e 90 kg ha.<sup>-1</sup>), mostrou que a sobrevivência das plantas foi reduzida com o incremento nos níveis de N no mesmo nível de potássio, mas com o aumento das doses de K a porcentagem de plantas sobreviventes aumentou, especialmente nos níveis mais elevados de N (Adams & Twersky, 1960). O mecanismo exato de atuação do potássio na resistência ao frio ainda não é claro, mas altos níveis de K no solo são essenciais para o incremento da resistência ao frio, tanto para gramíneas quanto para leguminosas forrageiras.

As plantas forrageiras precisam de área foliar durante o outono para sintetizar carboidratos por meio da fotossíntese e acumular reservas orgânicas antes do inverno. O acúmulo de reservas de carboidrato e N são necessários para o desenvolvimento da resistência, mantendo tecidos dormentes durante o inverno e auxiliando o novo crescimento na primavera seguinte. Em estandes enfraquecidos ou severamente danificados pelo frio, são necessários cuidados para a recuperação da produtividade, principalmente no que diz respeito ao tempo de recuperação dos mesmos, incluindo maiores intervalos de descanso.

### 3.5 Chuvas excessivas - excesso hídrico prolongado

Os efeitos de chuvas excessivas podem se constituir em fator deletério à produção de forragem, conforme discutido em 3.1. As informações disponíveis na literatura, sobre este tema, limitam-se a avaliar cultivares forrageiros tolerantes a solos mal-drenados, dentre os quais nenhum representante dos gêneros *Cynodon* e *Panicum*, que podem ser considerados tolerantes a solos saturados. No grupo das *Brachiaria*, a *B. humidicola* é tida como a espécie mais tolerante à saturação hídrica, o que está associado à sua habilidade de usar o nitrogênio na forma de  $\text{NH}_4^+$  (Miles, et al., 2004).

### 3.6 Chuvas na colheita

As chuvas durante a colheita podem ser problemáticas, uma vez que a colheita mecânica geralmente pressupõe algum grau de desidratação subsequente (confecção de feno ou pré-secado). Por outro lado, umidade excessiva pode causar fermentações indesejáveis ainda no campo e, ou, lixiviação de nutrientes solúveis, caso a massa a ser fenada seja atingida por precipitação antes de ser transportada ao local de armazenamto.

## 4. PARTICULARIDADES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições climáticas no Brasil permitem a exploração pecuária em pastagens o ano todo, apesar de, na grande maioria das áreas destinadas à pecuária (Brasil Central), as espécies forrageiras apresentarem acentuada estacionalidade de produção, com a produção no “inverno” decrescendo em graus variáveis em relação à produção de “verão”. Esta variação estacional da produção é constantemente citada como um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade animal no Brasil e é considerada uma das características mais indesejadas pelos produtores em relação às plantas forrageiras. Países de clima temperado, entretanto, apresentam estacionalidade ainda mais marcante e inverno mais severo, e mesmo assim, conseguem produtividade animal bastante alta, indicando que, na verdade, a baixa produtividade não é decorrente das características da planta ou do clima, mas sim da postura do produtor em função de fatores como tradição, preconceito etc. , refletindo na estruturação e na organização dos sistemas produtivos.

A produção de forragem em áreas de pastagem varia, principalmente, em resposta às alterações no ambiente físico, incluindo luminosidade, temperatura, disponibilidade hídrica e de combinações entre estes fatores. Todavia, a quantificação dos padrões e a ordem grandeza de tais respostas, para as diferentes condições geográficas do Brasil, são limitadas pela escassez de informações. Considerando a relevância econômica da pecuária nacional, tais limitações se constituem em importantes temas para a pesquisa na área de pastagens e de plantas forrageiras.

A falta de informações sobre a produção de forragem ao longo do ano, nos diversos ambientes e sob uma gama de condições, pode ser considerada atualmente a principal limitação para o planejamento criterioso de sistemas pastoris.

Dentre as possíveis fontes de informações, para prever o suprimento de forragem pela pastagem, estão os experimentos idealizados para medir a produtividade de forragem ao longo dos meses, das estações e de todo o ano. Adicionalmente, pode-se lançar mão do uso de modelos matemáticos que gerem estimativas de produção de forragem em função de determinados fatores do ambiente físico (oferta ambiental local). A adaptabilidade e os níveis de risco considerados, para cada espécie, em cada ambiente, se conhecidos e usados de forma criteriosa, trabalharão em favor do pecuarista e dos sistemas de produção. Ao final, as pastagens deverão se consolidar como a espinha dorsal da pecuária brasileira, e a razão fundamental para a alta competitividade no cenário mundial.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, W. E.; TWERSKY, M. Effect of soil fertility on winter-killing of Coastal Bermuda grass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 52, p. 325-326, 1960.
- ALVES, S. J. et al. **Espécies forrageiras recomendadas para produção animal**. Disponível em: < <http://www.funpecpr.org.br/tev/palestras/>>. Acesso em: 10 ago. 2008.
- ANGUS, J. P.; KORNHER, A.; TORSSELL, B. W. R. A system approach to Swedish ley production. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 14., 1981, Lexington. **Proceedings...** Boulder: Westview Press, 1983. p. 478-481. Edited by J. A. Smith, V. W. Hays.
- ARONOVICH, S. O capim colônião e outros cultivares de (*Panicum maximum* Jacq.): introdução e evolução do uso no Brasil. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE PASTAGENS – O CAPIM COLÔNIO, 12., Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.1-20.
- BARCELLOS, A. de O.; VILELA, L. **Restabelecimento da capacidade produtiva de pastagens por meio da introdução de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 5 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 65).
- BRAGA, G. J. **Resposta do Capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) a doses de nitrogênio e intervalos de corte**. 2001. 121 f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- BUENO, A. A. O. **Características estruturais do dossel forrageiro, valor nutritivo e produção de forragem nos pastos de capim-mombaça submetidos a regimes de lotação intermitente**. 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BÜRGI, R.; PAGOTTO, D. S. Aspectos mercadológicos dos sistemas de produção animal em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 19., 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 217-231. Editado por A. M. Peixoto et al.
- BURTON, G. W. et al. Effect of temperature, day length and solar radiation on production of Coastal Bermuda grass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 557-560, 1988.
- BURTON, G. W., JACKSON, J. E.; KNOX, F. E. The influence of light reduction upon the production, persistence and chemical composition of coastal Bermuda grass, *Cynodon dactylon*. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, p. 537-542, 1959.
- BUXTON, T. R.; FALES, S. L. Plant environment and quality. In: FAHEY JUNIOR, G. C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 155-199.
- CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P.; XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 5, 2002.
- CHILD, D. R.; BYINGTON, E. K. **Potential of the world's forages for ruminant animal production**. 2. ed. Morrilton: Winrock International, 1981.
- COOPER, J. P. Potential production and energy conversion in temperate and tropical grasses. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 40, p. 1-15. 1970.
- COOPER, J. P.; TANTON, N. M. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses: Review article. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 38, p.167-176, 1968.
- CORSI, M.; MARTHA JUNIOR, G. B. Manejo de pastagens para a produção de carne e leite. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 55-84. Editado por A. M. Peixoto; J. C. Moura; V. P. de Faria.
- COSTA, K. A. de P. et al. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n. 3, p. 187-193, jul./set. 2005.
- COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J. A.; TOWNSEND, C. R. Desempenho agrônomo de genótipos de *Brachiaria humidicola* em diferentes idades de corte. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA - ZOOTEC, 2003, Uberaba. **Anais...** Uberaba: ABZ/FAZU/ABCZ, 2003. p. 324-327.
- DESCHAMPS, F. C. Perfil fenológico de três ecótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p. 62-64.
- DIAS-FILHO, M. B. Colônião como planta pioneira. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE PASTAGENS – O CAPIM COLÔNIO, 12., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 305-314.
- DIAS-FILHO, M. B. Respostas morfofisiológicas de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo e a síndrome da morte do capim-marandu. In: WORKSHOP "MORTE DE CAPIM-MARANDU", 2005, Cuiabá. [Anais...]. [Campo Grande]: Embrapa Gado de Corte, 2005. 1 CD-ROM.
- EMBRAPA. Gado de Corte. **Marandu**. 2008a. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/marandu.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2008.
- EMBRAPA. Gado de Corte. **Mombaça**. 2008c. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/mombaca01.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2008.
- EMBRAPA. Gado de Corte. **Tanzânia**. 2008b. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/tanzania.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2008.
- EMBRAPA. Gado de Corte. **Capim-massai (*Panicum maximum* cv. Massai)**: alternativa para diversificação de pastagens. Campo Grande, 2001. 5 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 69).
- EUCLIDES, V. P. B. Valor alimentício de espécies do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE PASTAGENS – O CAPIM COLÔNIO, 12., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 245-273.
- FERNANDEZ, D. et al. Efecto de diferentes niveles de N en la producción de cinco gramíneas tropicales en suelo pardo tropical. **Pastos y Forrajes**, Habana, v. 9, n. 2, p. 27-42, 1986.
- HARLAN, J. R. *Cynodon* species and their value for grazing and hay. Review article. **Herbage Abstract**, Aberystwith, v. 40, n. 3, p. 233-238, 1970.
- HARLAN, J. R.; WET, J. M. J. Sources of variation in (*Cynodon dactylon* L.) Pers. **Crop Science**, Madison, v. 9, p. 774-778, 1969.
- HAY, R. K. M.; WALKER, A. J. **An introduction to the physiology of crop yield**. London: Longman Scientific and Technical, 1989.
- HERLING, V. R. et al. Tobiata, Tanzânia e Mombaça. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., 2000, Piracicaba. **A planta forrageira no sistema de produção**: [anais...]. Piracicaba: FEALQ, 2000. p. 21-64.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 15 mar. 2007.
- INSTITUTO DE ZOOTECNIA. **Capim aruana (*Panicum maximum* Jacq. cv. Aruana IZ-5)**: pré-lançamento. Nova Odessa, 1989.

JANK, L. Melhoria e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE PASTAGENS – O CAPIM COLÔNIAO 12., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 21-58.

JANK, L. et al. Avaliação do germoplasma de *Panicum maximum* introduzido da África. 1. Produção forrageira. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 23, p.433-440, 1994.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens degradadas. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 182-224.

LARA, M. A. S. **Respostas morfofisiológicas de cinco cultivares de *Brachiaria* spp. às variações estacionais da temperatura do ar e do fotoperíodo**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LEITÃO FILHO, H. F. **Espécies do gênero *Brachiaria* Griseb nativas e exóticas cultivadas no Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: CATI, 1977. 27 p. (Boletim técnico, 97).

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS: PESQUISA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1995, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: SBZ, 1995. p. 28-62.

MARASCHIN, G. E. Manejo de plantas forrageiras dos gêneros *Digitaria*, *Cynodon* e *Chloris*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p. 109–140. Editado por A. M. Moura, J. C. Peixoto e V. P. Faria.

MARCELINO, K. R. A. et al. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, 2003.

MCWILLIAM, J. R. Response of pastures plants to temperature. In: WILSON, J. R. (Ed.). **Plant relation in pastures**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.17–34.

MELLO, A. C. L. et al. Photosynthetic light response of Tanzânia grass fewer than four levels of leaf temperature. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 73-74.

MILES, J. W. et al. Brachiariagrasses. In: MOSER, L. E.; BURSON, B. L.; SOLLENBERGER, L. E. (Ed.). **Warm-Season (C4) Grasses**. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 2004. p. 745-783. (Agronomy monograph, n. 45.).

MISLEVY, P. et al. Influence of grazing management on forage quality of star grass. **Proceedings / Soil and Crop Science Society of Florida**, Belle Glade, v. 49, p. 162-166, 1989.

MOORE, K. J. et al. Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p.1073-1077, 1991.

MORENO, L. S. B. **Produção de forragem de capins do gênero *Panicum* e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas em função de variáveis climáticas**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

NELSON, C. J.; VOLENEC, J. J. Environmental and physiological aspects of forage management. In: BARNES, R. F.; MILLER, D. A.; NELSON, C. J. (Ed.). **Forages: An introduction to grassland agriculture**. 5. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. v. 1, p. 55-69.

NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P.; PEDREIRA, C. G. S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 203-242. Editado por A. M. Peixoto; J. C. Moura; V. P. de Faria.

PARSONS, J. J. Spread of African pasture grasses of the American tropics. **Journal of Range Management**, Denver, v. 25, n. 1, p. 12-17, 1972.

PEDREIRA, C. G. S. Avaliação de novas gramíneas do gênero *Cynodon* para a pecuária dos Estados Unidos. In: WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO *CYNODON*, 1996, Juiz de Fora. **Anais ...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 1996. p.111-126. Editado por M.J. Alvim et al.

PEDREIRA, C.G.S.; ROSSETO, F.A.A. Forage yield and utilization efficiency of ‘Tanzania’ guinea grass and ‘Guaçu’ elephantgrass pastures under rotational stocking. In: ANNUAL MEETINGS OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY / CROP SCIENCE SOCIETY OF AMERICA / SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2002, Indianapolis. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 2002. p. 23-25.

PEDREIRA, J. V. S. ; MATTOS, H. B. Crescimento estacional de vinte e cinco espécies ou variedades de capins. **Boletim de Indústria Animal**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 117-143, 1981.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim tanzânia em diferentes regiões do Brasil**. Piracicaba, 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo.

POLLOCK, C. J. The response of plant to temperature change. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 115, p. 1-5, 1990.

RASSINI, J. B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 8, p. 821-825, 2004.

REIS, R. A. et al. Produção de feno de *Cynodon*. In: VILELA, D.; RESENDE, J. C.; LIMA, J. (Ed.). **Cynodon: forrageiras que estão revolucionando a pecuária brasileira**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. p.177-189.

RENVOIZE, S. A.; CLAYTON, W. D.; KABUYE, C. H. S. Morphology, taxonomy and natural distribution of *Brachiaria* (Trin.) Griseb. In: MILES, J. W. et al. (Ed.). **Brachiaria: Biology, agronomy and improvement**. Cali: CIAT; Campo Grande: EMBRAPA CNPGC, 1996. v. 1, p. 1-15.

RODRIGUES, T. J. D.; RODRIGUES, L. R. A.; REIS, R. A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.17-61. Editado por V. Favoretto; L. R. A. Rodrigues; R. A. Reis.

ROLIM, F. A. Estacionalidade de produção de forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 6., 1980, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1980. p. 39-81. Editado por J. C. Moura, V. P. de Faria.

SAKAY, A.; LARCHER, W. **Frost survival of plants: Responses and adaptation to freezing stress**. Berlin: Springer-Verlag, 1987. (Ecological studies, 62).

SALISBURY, F. B; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4 ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 1992.

SANDERSON, M. A. et al. Comparison of morphological development indexes for Switch grass and Bermuda grass. **Crop Science**, Oxford, v. 37, p. 871-878, 1997.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. de O.; BEZERRA, H. S. **Área e distribuição espacial de pastagens cultivadas no cerrado brasileiro**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. 21 p. (EMBRAPA Cerrados. Boletim de pesquisa, 3).

SANTOS, P. M.; BALSALOBRE, M. A. A.; CORSI, M. Características morfofisiológicas e taxa de acúmulo de forragem do Capim-Mombaça submetido a três intervalos de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 843-851, 2004.

SANTOS, P. M.; CORSI, M.; BALSALOBRE, M. A. A. Efeito da frequência de pastejo e da época do ano sobre a produção e qualidade de *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 244-249, 1999.

- SILVA, S. C. Potencial das pastagens de *Cynodon* na pecuária de corte. In: VILELA, D.; RESENDE, J. C.; LIMA, J. (Ed.). **Cynodon: forrageiras que estão revolucionando a pecuária brasileira**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. p. 177-189.
- SINCLAIR, T. R. et al. Growth of subtropical forage grasses under extended photoperiod during short-daylength months. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 1, p. 618-623, 2003.
- SNAYDON, R. W. The productivity of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants: A reassessment. **Functional Ecology**, Oxford, v. 5, p. 321-330, 1991.
- SOARES FILHO, C. V. Recomendações das espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 25-47.
- SOLLENBERGER, L. E. Sustainable production systems for *cynodon* species in the subtropics and tropics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, p. 85-100, 2008. Suplemento especial.
- SOUZA, O. C. et al. **Diagnóstico de morte de pastagens de *Brachiaria brizantha* nas regiões de Araguaína, TO e Redenção, PA**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPGC, 2000. 11 p. (EMBRAPA-CNPGC. Documentos, 96).
- TEERI, J. A.; STOWE, L. G. Climatic patterns and the distribution of C<sub>4</sub> grasses in North America. **Oecologia**, Berlin, v. 23, p.1-12, 1976.
- TONATO, F. C. et al. Efeito do genótipo sobre a temperatura base inferior de *Cynodon*. In: SIMPOSIUM ON GRASSLAND ECOPHYSIOLOGY AND GRAZING ECOLOGY, 2., 2004, Curitiba. [Anais...]. Curitiba: UFPR: UFRGS: IAPAR: Embrapa Pecuária Sul: Embrapa Florestas: ESALQ, 2004. CD-ROM.
- TURNER, N. C.; BEGG, J. E. Response of pasture plants to water deficits. In: WILSON J. R. (Ed.). **Plant relations in pastures**. East Melbourne: CSIRO, 1978. p. 50-66
- USBERTI FILHO, J. A. **O Agrônomo**, Campinas, v. 34, 1982. 7 p. Edição especial.
- VILELA, D.; ALVIM, M. J. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 23-54. Editado por A. M. Peixoto, J. C. Moura, V. P. de Faria.
- VOLENEC, J. J. et al. (Ed.). **Forages**. Vol.1: An introduction to grassland agriculture. 6. ed. Ames: Iowa Sate University Press, 2003. V.1, p. 99-124,
- VOLENEC, J. J.; NELSON, C. J.; SLEPER, D. A. Influence of temperature on leaf dark respiration of diverse tall fescue genotypes. **Crop Science**, Madison v. 24, p. 907-912, 1984.
- WARDLAW, I. F. The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. II. Effect during leaf development in *Lolium temulentum* L. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 22, p.1-16. 1969.
- WEIGAND, R.; STAMATO NETO, J.; COELHO, R. D. Pasto irrigado produz mais. In: **ANUALPEC 98**: anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Argos, 1998. p. 45-50.
- WEST, C. P. A proposed growth stage system for bermudagrass. In: AMERICAN FORAGE AND GRASSLAND CONFERENCE, 1990, Blacksburg. Forages: sustaining food production and environmental quality: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1990. p. 38-42,
- WILSON, J. R. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: HACKER, J. B. (Ed.). **Nutritional limits to animal production from pasture**. Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1982. p. 111-131.





# MACIEIRA

*Foto: Karolina Przybysz*





## 1. INTRODUÇÃO

A macieira pertence à família *Rosaceae*, ordem *Rosales* e subfamília *Pomoideae*. Apesar de existirem dezenas de espécies, muitas ainda em estado selvagem, apenas algumas são utilizadas comercialmente para a produção de frutas, como porta-enxertos, plantas ornamentais e fonte de germoplasma para o melhoramento genético e pesquisa científica. A macieira cultivada comercialmente recebeu vários nomes científicos ao longo do tempo e, a partir de 1803, foi denominada de *Malus domestica* Borkh.

A origem exata da espécie *Malus domestica* é desconhecida, embora existam indícios de que seja derivada da espécie *M. pumila* Mill., que ocorre naturalmente no leste europeu e oeste asiático, ou da espécie *M. sieversii* (Ledeb.) M. Roem., encontrada nas montanhas da Ásia Central. Diversas seleções de *M. sieversii* produzem frutas com tamanho, cor e sabor semelhantes às de muitas cultivares comerciais de macieira.

Desde sua introdução no Brasil, pelos primeiros colonizadores europeus, até a década de 60, o cultivo da macieira limitou-se a pomares domésticos, com exceção da Região de Valinhos, SP, que apresentava pomares comerciais de cultivares de baixa qualidade e cuja produção era vendida em caixas de tomate.

O sistema produtivo atual, intensivo e com as etapas de produção, beneficiamento e comercialização, plenamente integradas, é recente. Os primeiros pomares comerciais foram implantados em Santa Catarina, na região de Fraiburgo, em 1969, por grandes grupos empresariais atraídos pela Lei de Incentivos Fiscais para reflorestamento, que incluía a macieira em seu programa. No início da década de 1970, houve incentivos da Secretaria da Agricultura, que criou o PROFIT (Programa de Fruticultura de Clima Temperado), beneficiando pequenos e médios produtores, incentivos que não mais existem. A experiência do PROFIT foi levada, posteriormente, ao Paraná e ao Rio Grande do Sul.

O cultivo da maçã está concentrado na Região Sul do Brasil, responsável por 98,5% da produção nacional. Em 1972, a área plantada no Brasil era insignificante, cerca de 931 ha. Em 1980, já eram 18.941 ha plantados e, em 2007, 37.430 ha (Tabela 1). Santa Catarina possui a maior área plantada, com 20.930 ha, seguido pelo Rio Grande do Sul, com 14.000 ha, e Paraná, com 2.000 ha. A produção de maçã, no Brasil, em 1974, atingiu 1.528 toneladas, passando a 48.715 toneladas em 1980 e, 840.000 toneladas, em 2008 (Tabela 2). O Estado com maior produção é Santa Catarina que, em 2007, produziu 426.300 toneladas de maçãs, seguido pelo Rio Grande do Sul, com 365.652 toneladas, e Paraná, com 48.048 toneladas.

Enquanto a área plantada teve um aumento de 62%, de 1980 a 1990, a produção aumentou, neste mesmo período, 1.394%. Considerando o período de 1988 a 2007, o incremento da área foi de 70% e, da produção, de 145%.

O incremento da produção, aliado à oferta de maçãs adequadas ao paladar do consumidor brasileiro, principalmente das cultivares Gala e Fuji, proporcionou a elevação do consumo da maçã nacional e a consequente substituição da maçã argentina que, historicamente, foi a principal abastecedora do mercado brasileiro.

Aproximadamente 80% da produção brasileira de maçã destinam-se ao consumo *in natura*, comercializada, principalmente, por CEASAs, CEAGESP e grandes supermercados. A maçã reservada à industrialização é de qualidade inferior, não apresentando condições de comercialização no mercado da fruta *in natura*. Na pauta exportadora do Brasil, a maçã é a terceira, em termos de volume de exportação, com aproximadamente 112.200 toneladas, em 2008. Do total embarcado, 88,5% (ou 99,1 mil toneladas) tiveram a Europa como destino.

A maior parte da produção de maçã provém de grandes empresas, que cultivam extensas

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Uva e Vinho, Caixa Postal 1513, CEP 95200-000, Vacaria-RS; E-mail: gilmar@cnpuv.embrapa.br.

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Uva e Vinho. E-mail: fioravanco@cnpuv.embrapa.br.

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Uva e Vinho. E-mail: hoffmann@cnpuv.embrapa.br.

áreas, com avançado nível de integração vertical nas estruturas de classificação, de câmaras frias e de comercialização.

**Tabela 1. Distribuição da área plantada de macieira no Brasil, no período de 1989 a 2007.**

SAFRA	ÁREA PLANTADA (HA)					BRASIL
	SC	RS	PR	OUTROS		
1989/90	13.306	7.911	2.935	1.000	25.152	
1994/95	14.245	9.410	1.961	620	26.236	
1999/00	15.814	11.582	1.469	363	29.228	
2000/01	15.377	13.703	1.586	340	31.006	
2001/02	15.907	13.639	1.717	224	31.487	
2002/03	16.348	13.352	1.603	185	31.516	
2003/04	16.838	13.182	1.694	200	31.914	
2004/05	17.988	13.777	1.923	250	33.937	
2005/06	20.400	13.886	1.931	400	36.617	
2006/07*	20.931	14.000	2.000	500	37.431	

\* Estimado / Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Maçã (ABPM); Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. (Epagri) / Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã (Agapomi); Departamento de Economia Rural do Paraná (Deral-PR).

**Tabela 2. Produção brasileira de maçã no período de 1974/75 a 2007/08.**

SAFRA	PRODUÇÃO (t)					BRASIL
	SC	RS	PR	SP	OUTROS	
1974/75	5.000	-	-	-	-	5.000
1979/80	27.806	9.000	2.356	9.000	553	48.715
1984/85	133.920	46.000	17.300	8.000	1.200	206.420
1989/90	225.558	93.750	23.720	8.000	-	351.028
1994/95	267.000	198.400	30.000	-	-	495.400
1999/00	500.142	427.036	36.000	4.885	-	968.063
2000/01	378.748	304.447	23.800	2.820	-	709.815
2001/02	474.516	346.314	33.800	2.710	-	857.340
2002/03	374.302	301.130	25.583	-	-	701.015
2003/04	532.203	409.695	46.188	1875	-	989.961
2004/05	487.565	347.702	47.205	-	-	882.472
2005/06	412.428	307.222	39.381	-	-	759.031
2006/07	430.581	369.313	48.386	-	-	848.280
2007/08*	426.300	365.652	48.048	-	-	840.000

\* Estimado / Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Maçã (ABPM); Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã (AGAPOMI); As\* Estimadosociação Paranaense de Produtores de Maçã (FRUTIPAR); Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. (Epagri) / Departamento de Economia Rural do Paraná (Deral-PR).

## Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo

A estrutura vegetativa da macieira, como em todas as plantas perenes, é resultante do crescimento acumulado ao longo de vários anos. O crescimento vegetativo está diretamente relacionado ao vigor da planta, bem como a sua adaptação às condições climáticas do local de cultivo, espaçamento de plantio, condições físicas e químicas do solo, disponibilidade hídrica e práticas de manejo adotadas.

Embora o vigor moderado seja necessário, especialmente na fase inicial de estabelecimento da muda no pomar, o excesso de vigor causa atraso na entrada em frutificação, baixa produção e desequilíbrio da planta. Plantas altamente vigorosas, quando não manejadas adequadamente através de podas, adubações nitrogenadas, controle da carga de frutas ou uso de retardadores de crescimento, podem se tornar economicamente inviáveis. Por esta razão, o uso de combinações enxerto-porta-enxerto, que proporcionem vigor moderado, está se tornando cada vez mais frequente. Na Tabela 3 são apresentados os principais fatores que afetam o crescimento vegetativo da macieira.

**Tabela 3. Principais fatores que influenciam no crescimento vegetativo de macieiras.**

Promotores	Inibidores
Fertilidade elevada do solo	Baixa fertilidade do solo
Suprimento abundante de água no verão	Déficit hídrico no verão
Cultivar e porta-enxerto vigorosos	Cultivar e porta-enxerto pouco vigorosos
Poda de plantio drástica (cerca de 60 cm)	Poda de plantio leve (superior a 1 metro)
Poda drástica de inverno	Poda leve de inverno
Pouca realização de arqueamento	Uso intenso de arqueamento
Poda somente no inverno	Complementação da poda de inverno com a poda verde, no verão ou outono
Elevada adubação nitrogenada	Redução da adubação nitrogenada
Raleio intenso de frutas	Raleio leve de frutas
Baixa carga de frutas	Carga elevada de frutas Uso de retardadores de crescimento

Fonte: Ebert e Raasch (1988).

Mais de 90% da produção brasileira de maçã provém das cultivares dos grupos Gala e Fuji. As cultivares do grupo Gala, responsáveis por aproximadamente 60% da produção, são as primeiras a serem colhidas, de fevereiro a março; as do grupo Fuji, com aproximadamente 30% da produção, são colhidas em abril. As demais cultivares que completam o quadro da produção brasileira de maçã, responsáveis por menos de 10% do total produzido, são colhidas de janeiro a maio, dependendo do local de cultivo. Entre estas, podem ser citadas, Eva, Condessa, Golden Delicious e Pink Lady.

### 1.1 Fenologia

A macieira, a exemplo de outras plantas perenes de clima temperado, apresenta um período de repouso, no inverno, e um período de desenvolvimento vegetativo e produtivo, na primavera e verão (Figura 1). Quando a macieira tem sua exigência em frio plenamente satisfeita, a brotação ocorre de forma

normal, caracterizada pelos estádios fenológicos típicos (Figura 2). Estes estádios são identificados por letras e subdivididos em subestádios, identificados por números arábicos, como mostrado na Tabela 4.

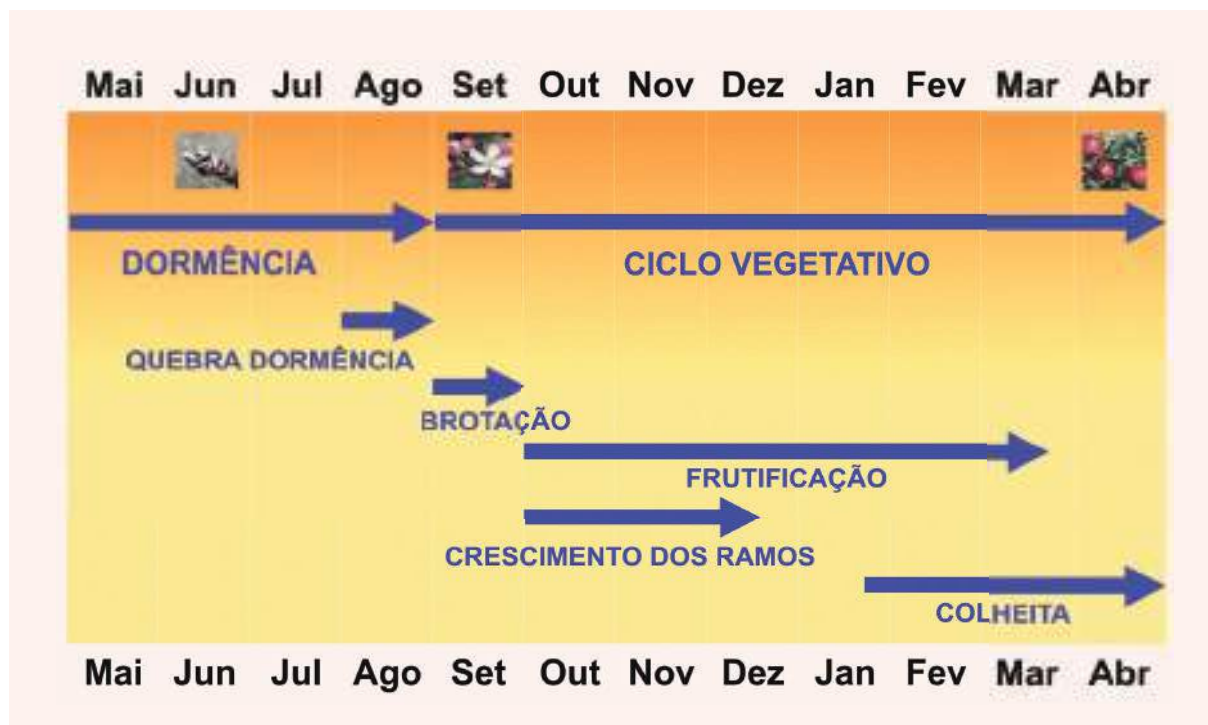


Figura 1. Ciclo vegetativo e reprodutivo da macieira no Brasil (Fonte: Nachtigall, 2009 – dados não publicados).

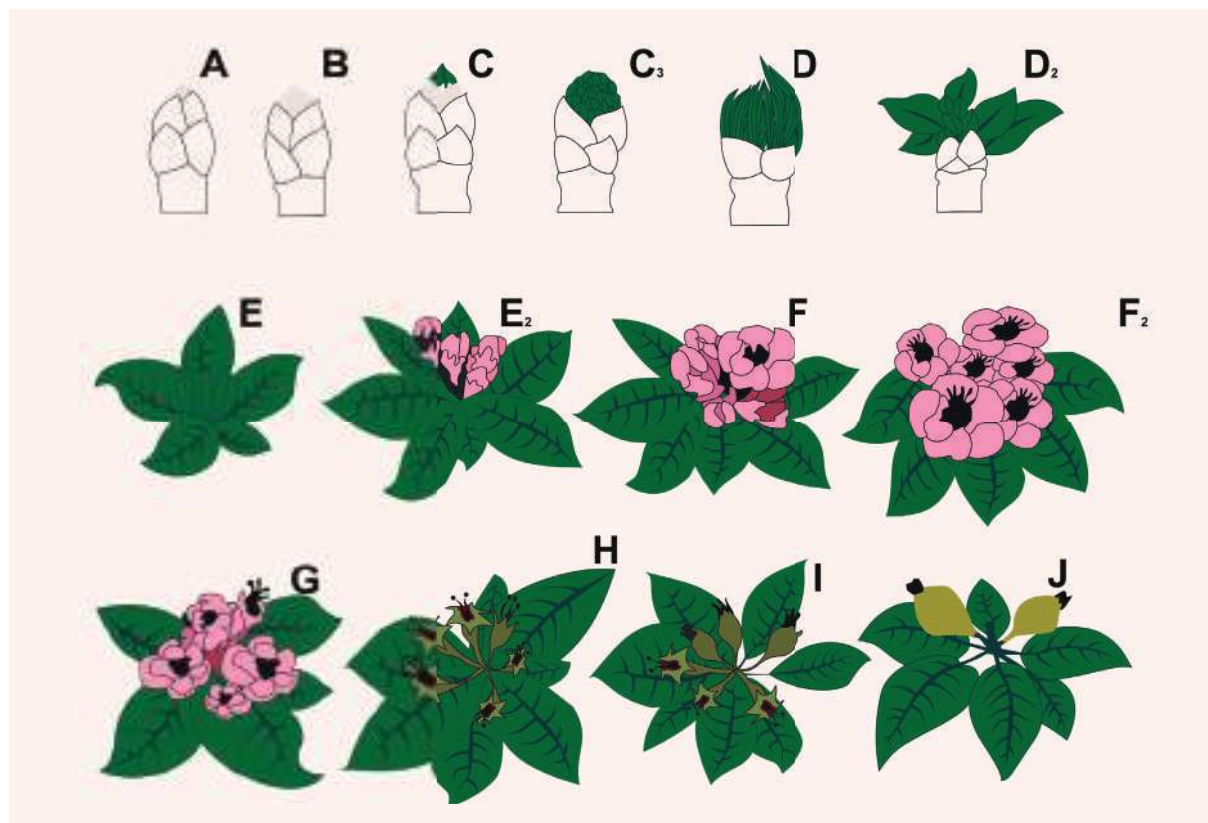


Figura 2. Sequência de estádios fenológicos em gemas de macieira: A – gema dormente; B – gema inchada; C – pontas verdes; C<sub>3</sub> – meia polegada verde; D – meia polegada verde sem folhas; D<sub>2</sub> - meia polegada verde com folhas; E – botão verde; E<sub>2</sub> – botão rosado; F – início de floração; F<sub>2</sub> – plena floração; G – final da floração; H – queda de pétalas; I – frutificação efetiva; J – frutas verdes. (Fonte: Bender, 1986).

Tabela 4. Fases e estádios de desenvolvimento da macieira.

Fase de Desenvolvimento	Subfase	Estádio	Marcador morfofisiológico
Repouso	Dormência	A	Gema dormente
		B	Gema inchada
Vegetativa	Brotação	C	Pontas verdes
		C <sub>3</sub>	Meia polegada verde
		D	Meia polegada verde sem folhas
		D <sub>2</sub>	Meia polegada verde com folhas
		E	Botão verde
Reprodutiva	Floração	E <sub>2</sub>	Botão rosado
		F	Início de floração
		F <sub>2</sub>	Plena floração
	Frutificação	G	Final da floração
		H	Queda de pétalas
		I	Frutificação efetiva
		J	Frutas verdes

Nas condições climatológicas do sul do Brasil, no entanto, quando não ocorre número de horas de frio suficiente, as macieiras apresentam brotação e reinício de período vegetativo irregulares. Mesmo nessas condições, o desenvolvimento da brotação é caracterizado por estádios fenológicos típicos.

O conhecimento da evolução dos estádios fenológicos, durante a floração e a frutificação, é fundamental para se recomendar, adequadamente, as práticas culturais em um pomar de macieira.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

A macieira é uma planta caducifólia, que entra em repouso no período de inverno e requer determinado número de horas de frio para a superação da dormência das gemas e, assim, iniciar o ciclo vegetativo e produtivo. As variáveis climatológicas que mais influenciam a macieira são precipitação pluviométrica, temperatura, luminosidade, vento e radiação solar. A altitude e a topografia ao redor do pomar também são fatores importantes a serem considerados.

A temperatura e a precipitação são os fatores mais significativos, podendo ser limitantes, dependendo do ano e da região cultivada. Os tipos climáticos predominantes nas principais regiões produtoras de maçãs do sul do Brasil, de acordo com a Classificação de Köppen, são o Cfa (clima subtropical) e o Cfb (clima temperado).

### 2.1 Disponibilidade hídrica

A precipitação pluviométrica é importante para o desenvolvimento da macieira, especialmente no período de setembro a maio. Em geral, a umidade do solo não é limitante para a cultura, no sul do Brasil, devido à distribuição relativamente uniforme das chuvas e à profundidade e extensão

do sistema radicular das plantas. Porém, a deficiência de água, na fase de desenvolvimento dos frutos, pode afetar o tamanho final dos mesmos, além de prejudicar a absorção de nutrientes, o crescimento da planta e a diferenciação das gemas floríferas no ciclo seguinte. Nesses casos, o suprimento de água é necessário para evitar a perda de produção, principalmente pela redução do tamanho dos frutos. Algumas iniciativas de uso da irrigação por gotejamento e microaspersão foram testadas no sul do Brasil, porém, de modo geral, foram consideradas inviáveis economicamente. O uso de sistemas de irrigação por aspersão, de melhor relação custo/benefício, para uso eventual, parece ser a melhor alternativa, caso ocorram períodos frequentes de estiagem.

O sistema radicular proporciona sustentação à planta, atuando na exploração do solo e na absorção de água e minerais, na síntese de compostos importantes e no acúmulo de substâncias de reserva. Boas condições para o desenvolvimento das raízes, principalmente no que se refere à textura, estrutura, fertilidade e drenagem do solo, são essenciais para a obtenção de uma planta equilibrada e produtiva, bem como para o aprofundamento das raízes, necessário para o aumento do volume de solo explorado para absorção de água e nutrientes e para maior tolerância a pouca disponibilidade de água. A compactação e a pouca drenagem do solo limitam o desenvolvimento das raízes de macieira, bem como a capacidade de absorção de água e nutrientes e, por consequência, reduzem o vigor e a produtividade das plantas.

A estrutura do sistema radicular depende do tipo de propagação adotada. Quando a propagação é feita através de sementes, o sistema radicular é inicialmente pivotante, com posterior ramificação lateral vigorosa. Porém, é mais comum a propagação vegetativa por estaquia ou mergulhia de cepa, em que o sistema radicular é uniformemente distribuído na base da muda, definindo-se, com o avanço do crescimento da planta, uma raiz principal mais vigorosa. As características das raízes são afetadas também pelo porta-enxerto, no que se refere ao vigor e a capacidade de absorção de água e nutrientes, e pela densidade de plantio.

O consumo de água pela macieira é influenciado principalmente pela temperatura, radiação solar global, déficit de pressão de vapor e umidade relativa do ar, sendo a velocidade do vento pouco relevante.

O coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) está relacionado a diferentes fatores culturais, podendo apresentar valores médios entre 0,50 e 0,90. Na ausência de cobertura vegetal no solo, a FAO recomenda valores de  $K_c$  iguais a 0,45, no início do desenvolvimento dos ramos; 0,95, no período de maior crescimento dos frutos; 0,75, da colheita até a queda das folhas; e 0,20, após a queda das folhas.

## 2.2 Temperatura

As baixas temperaturas no inverno são determinantes principais das regiões viáveis para a cultura da macieira. O desenvolvimento da macieira é condicionado pelo ciclo anual da temperatura, pois as baixas temperaturas no outono induzem a planta a entrar em dormência, ao passo que, depois de completada a exigência em frio durante o inverno, ocorre a brotação e a floração. Porém, como no Brasil os invernos são amenos e irregulares, a brotação e o reinício do período vegetativo são, muitas vezes, igualmente irregulares.

O potencial climático para o cultivo da macieira está diretamente relacionado ao total de frio que ocorre entre os meses de maio a setembro. Baseando-se em modelos adotados em países do Hemisfério Norte, adota-se, comumente, o total de horas de frio inferiores a 7,2°C como referência para indicação de uma região como apta ou inapta à adaptação da maioria das cultivares. Regiões com mais de 1000 horas de frio são consideradas ideais, enquanto locais com 500 horas são considerados adequados, desde que sejam utilizados tratamentos químicos para a quebra da dormência. Regiões com menos de 500 horas de frio requerem o uso de cultivares de menor exigência ao frio. No Brasil, as regiões mais adequadas para o cultivo da macieira estão localizadas nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, que apresentam somatórios de horas de frio compatíveis com as exigências da cultura (Figura 3).

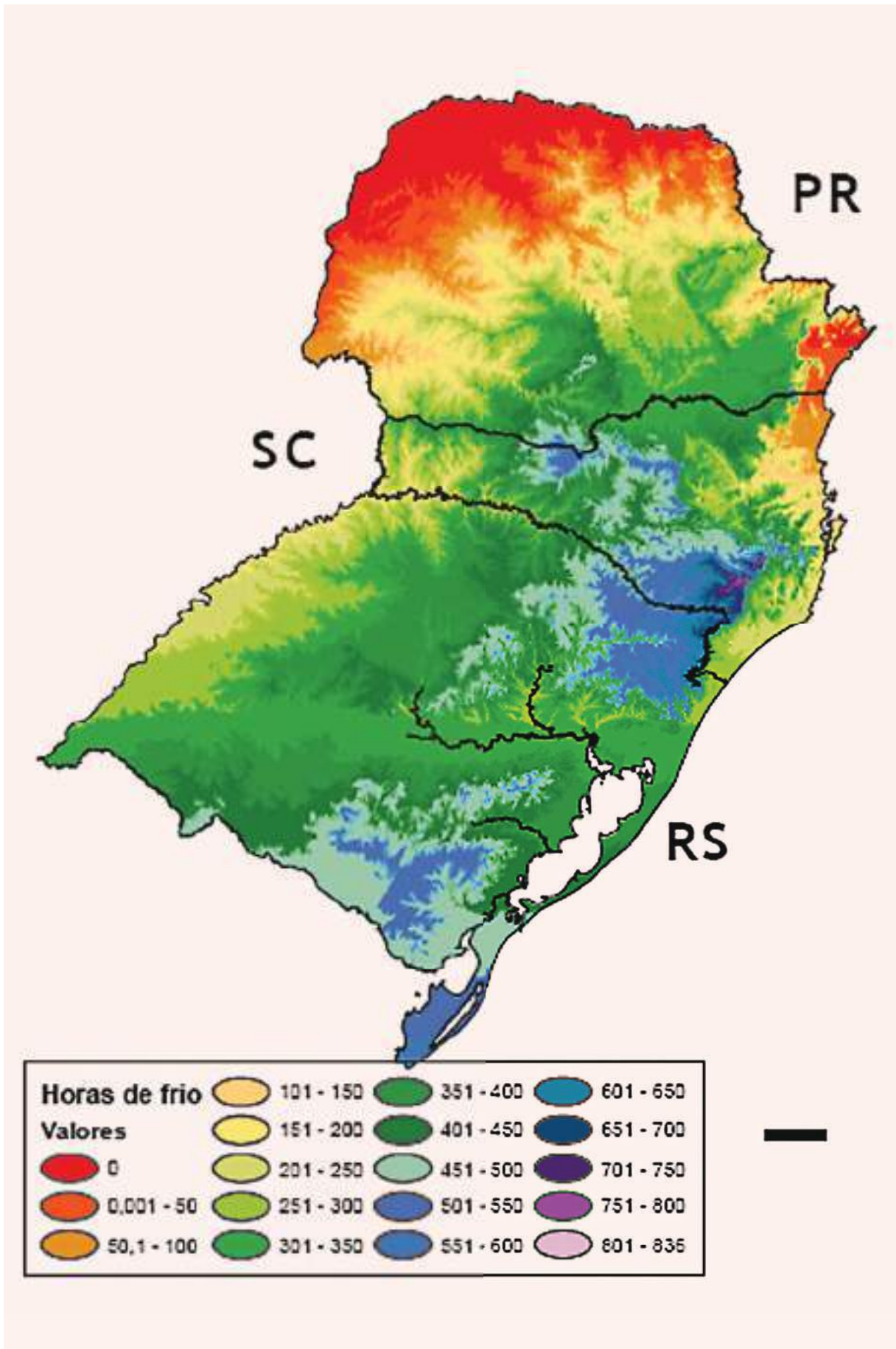


Figura 3. Distribuição do número de horas de frio (temperatura inferior a 7,2 °C) na Região Sul do Brasil (Fonte: Wrege & Herter, 2007).



A região de Vacaria, RS, encontra-se na faixa intermediária, com soma de temperaturas, inferiores a 7,2°C, entre 500 e 1000 horas. Contudo, tem-se verificado, naquela região, uma tendência de redução gradual no número de horas de frio nas últimas décadas, como se vê na Figura 4.

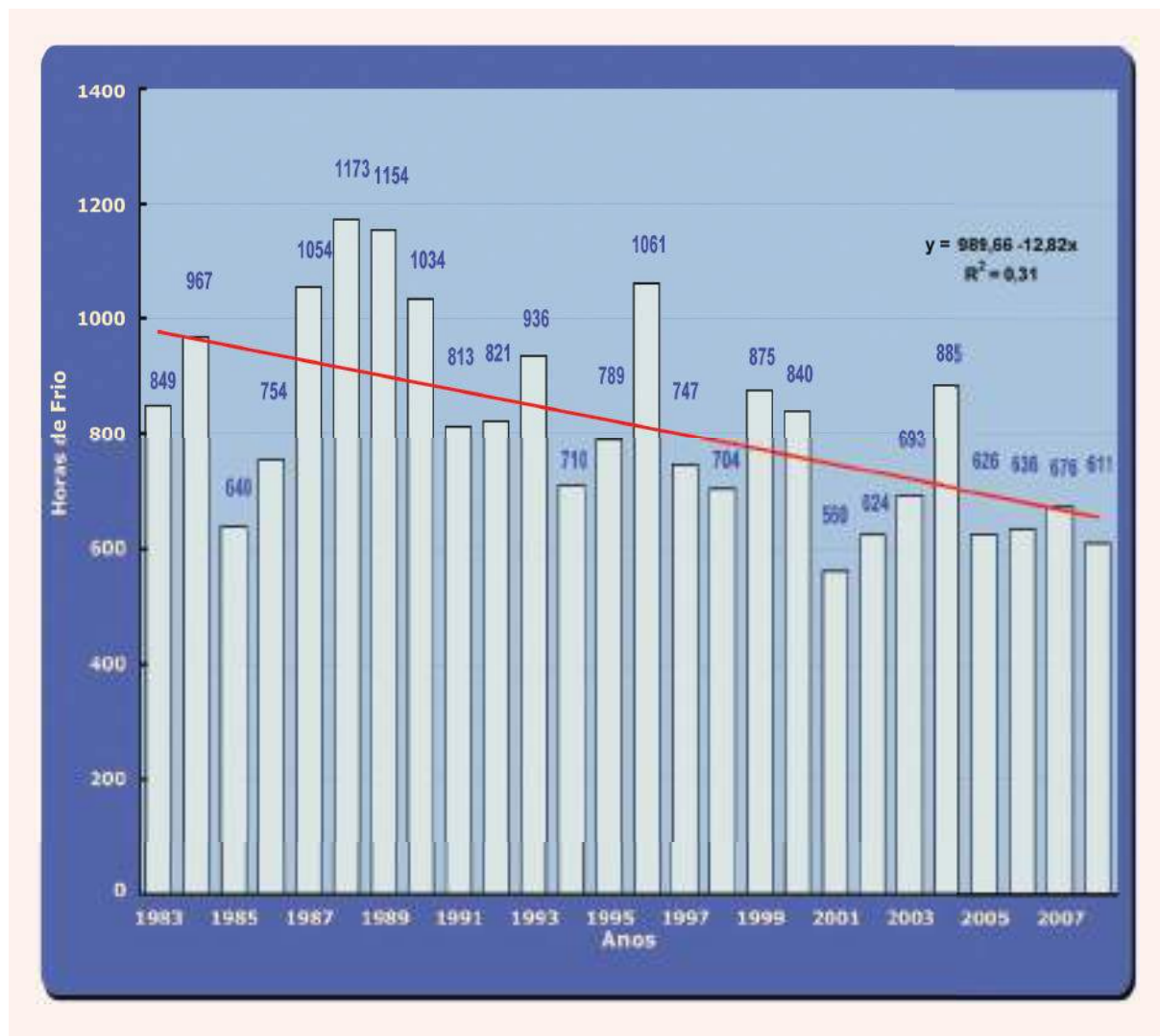


Figura 4. Distribuição do número de horas de frio (temperatura inferior a 7,2 °C) de 1983 a 2008, na região de Vacaria, RS. (Fonte: Nachtigall & Czermainski, 2009 – dados não publicados).

Para regiões de climas subtropicais, como ocorrem no Brasil, outros indicadores podem ser tão ou mais eficientes que as horas de frio, já que, comprovadamente, temperaturas entre 10 a 12°C também têm efeito favorável na superação da dormência. A elevação da temperatura acima de 21°C, durante o inverno, anula o efeito do frio previamente acumulado. Como esta situação ocorre com certa frequência no sul do Brasil, há necessidade de lançar-se mão de outros mecanismos de avaliação do frio para quebra da dormência. Os modelos que consideram o total de unidades de frio relacionam a temperatura do ar ao término da dormência. Estas unidades são acumuladas diariamente até atingirem um total que, teoricamente, corresponde ao final da dormência. As temperaturas do ar são divididas em faixas de eficiência, de modo que, temperaturas elevadas, superiores a 18 a 19°C, são multiplicadas por coeficientes negativos, enquanto que, temperaturas próximas a 7,2°C apresentam coeficientes positivos (Tabela 5). Os principais modelos de unidades de frio são o de Utah e o da Carolina do Norte. Estudo realizado para as condições climáticas de Santa Catarina (Caçador), relativo à brotação da cv. Gala, concluiu que o modelo de horas de frio, menores que 7,2°C, apresentou baixa correlação com a data de início da brotação, enquanto os modelos Carolina do Norte e Carolina do Norte Modificado apresentaram as maiores correlações.

**Tabela 5. Conversão de temperaturas para unidades de frio (UF), para os modelos de Utah e Carolina do Norte.**

Modelo de Utah		Modelo Carolina do Norte	
Temperatura (°C)	UF	Temperatura (°C)	UF
< 1,4	0,0	< -1,1	0,0
1,5-2,4	0,5	1,6	0,5
2,5-9,1	1,0	7,2	1,0
9,2-12,4	0,5	13,0	0,5
12,5-15,9	0,0	16,5	0,0
16,0-18,0	-0,5	19,0	-0,5
> 18,0	-1,0	20,7	-1,0
		22,1	-1,5
		23,3	-2,0

Fonte: Richardson et al. (1974) e Shaltout e Unrath (1983), citados por Pola et al. (1994).

A maioria das cultivares importantes, plantadas no sul do Brasil, apresenta uma exigência de horas de frio (abaixo de 7,2°C), durante o inverno, em torno de 900 horas. Há, entretanto, cultivares menos exigentes ao frio, tais como as lançadas pela EPAGRI, IAC e IAPAR, além de outras desenvolvidas em regiões de invernos amenos. Como exemplos, podem ser citadas as cultivares IAPAR 77 – Carícia (200-450 horas) e IAPAR 76 – Anabela (100-250 horas). Em regiões com pouca disponibilidade de frio hibernal, é prática comum a aplicação de produtos químicos para auxiliar na superação da dormência, como a cianamida hidrogenada e o óleo mineral, por exemplo. Dessa forma, são obtidas brotações mais intensas e uniformes. Em regiões com suficiente acúmulo de horas de frio, durante o inverno, como a região de São Joaquim, pode ser dispensado o uso de agentes químicos para quebra da dormência na maioria dos anos, pois é possível que, naturalmente, ocorram adequada brotação, floração e qualidade dos frutos, para a maioria das cultivares de importância comercial. Porém, a maior parte das regiões apresenta somatório de horas de frio hibernal insuficiente, requerendo cuidados especiais para a quebra da dormência. Cultivares muito exigentes ao frio são desaconselháveis em regiões de invernos amenos.

A faixa ideal de temperatura para a macieira, durante o período vegetativo, situa-se entre 18 e 23°C, não ultrapassando, no verão, 25°C. Durante a floração e polinização, temperaturas inferiores a 10°C praticamente paralisam o crescimento do tubo polínico, dificultando a fixação e a adequada formação dos frutos. Além disso, as baixas temperaturas dificultam a atividade das abelhas e outros insetos polinizadores. Geadas ou temperaturas muito baixas, antes da floração, podem causar danos aos frutos que serão formados, podendo afetar a forma e estimular a presença de um anelamento de “russeting” na epiderme. A temperatura, nas 2 a 3 semanas após a floração, influencia a forma dos frutos, sendo que temperaturas baixas favorecem a alongação dos mesmos e, temperaturas altas, a formação de frutos mais achatados.

Temperaturas acima de 30°C causam forte redução no crescimento da raiz e da parte aérea. Nessas condições, o período compreendido entre a floração e a maturação é encurtado, havendo menor tempo para o crescimento dos frutos. Estes frutos apresentam menor tamanho, quando comparados com os de regiões onde as temperaturas nesta época são mais amenas. Sob climas

com temperaturas amenas, que propiciam um ciclo vegetativo mais prolongado, há formação de polpa mais firme e de melhor qualidade.

Temperaturas muito elevadas, durante o crescimento dos frutos, também podem ocasionar queimaduras na epiderme, reduzindo a produtividade, a qualidade e a capacidade de armazenamento dos mesmos. Para reduzir a queimadura dos frutos, devem ser tomados cuidados com o desfolhamento precoce, como o ocasionado pela mancha de *Glomerella* na cv. Gala, evitar poda verde excessiva ou muito precoce, manter um bom enfolhamento da planta e não remover os frutos já queimados, devido ao risco de expor os frutos vizinhos a este dano.

Deve-se considerar, ainda, a importância da diferença da temperatura entre o dia e a noite, durante a primavera e o verão. Locais que apresentam pouca diferença entre as temperaturas diurnas e noturnas, devido, essencialmente, às elevadas temperaturas da noite, favorecem a respiração dos frutos, diminuindo o seu crescimento e coloração. Por outro lado, locais com temperaturas noturnas baixas, em torno de 15°C, favorecem a formação das antocianinas e a boa coloração da epiderme dos frutos.

No que se refere à temperatura do solo, em geral, temperaturas entre 15°C e 25°C são as mais adequadas para o crescimento das raízes.

### 2.3 Radiação solar

A radiação solar é a fonte de energia para as plantas, determinando a produção de matéria seca. Essa produção depende da interceptação da luz que, por sua vez, está relacionada às características do dossel, determinadas pelo sistema de condução das plantas, poda, espaçamento, sentido das fileiras de plantas, entre outras.

A macieira é uma espécie que exige alta densidade de fluxo radiante, principalmente durante a fase de crescimento vegetativo. A duração da exposição à radiação solar tem efeito significativo sobre o desenvolvimento e o envelhecimento das folhas maduras da macieira. A indução e a diferenciação das gemas florais são fortemente estimuladas pela exposição adequada à luz. Ramos situados à sombra tendem a desenvolver reduzido número de flores, enquanto os expostos à luz desenvolvem maior número. Além disso, flores provenientes de gemas bem desenvolvidas, formadas sob bom suprimento de luz, produzem frutos de maior tamanho. Na fase de maturação, a luz solar influencia a pigmentação da epiderme, tornando os frutos mais vermelhos e aumentando a formação de açúcares. Ela também parece afetar a quebra da dormência, já que resultados de pesquisa mostram o efeito negativo da radiação solar direta. Os hormônios inibidores do crescimento das gemas são afetados pela radiação direta, alcançando níveis mais elevados em dias curtos. Dessa forma, a quantidade de radiação interceptada é um importante regulador da produtividade potencial de pomares de macieira. As condições mais adequadas para alcançar altas produções caracterizam-se por céu limpo a muito claro.

O excesso de radiação solar de alta intensidade pode causar queimaduras ou favorecer o aparecimento de um distúrbio fisiológico denominado “escaldadura”, que se manifestará durante o período de armazenagem.

### 2.4 Fotoperíodo

A macieira é considerada uma planta de dias neutros, para a maioria dos processos. A senescência e abscisão das folhas, no outono, são reguladas pelas baixas temperaturas e não pelo comprimento do dia.

### 2.5 Vento

Ventos de fraca intensidade inibem a formação de um microclima que favoreceria a ocorrência de doenças. O uso de quebra-ventos é prática comum em pomares, com espécies como eucalipto, pinus e cipreste, dentre outras.

## 2.6 Altitude

A altitude é um fator importante, pois está relacionada com a temperatura, a frequência e a velocidade dos ventos. Em geral, para uma mesma cultivar, quanto maior a altitude, mais alongados (cônicos) serão os frutos, enquanto que, em regiões de menor altitude, os frutos serão mais achatados e arredondados. No sul do Brasil, as melhores regiões para cultivo da macieira situam-se em altitudes superiores a 800 metros, devido à maior ocorrência de frio para quebra da dormência.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

Convém implantar pomares em regiões com pouca ocorrência de granizo, devido aos grandes danos que provoca e à dificuldade de controle. A proteção mais eficiente consiste no uso de cobertura com tela plástica (Figura 5), prática de custo elevado, mas que proporciona proteção quase total. Quando utilizada esta proteção, deve-se dar preferência ao uso de telas de cor branca, que causam menor redução na taxa fotossintética e na coloração da epiderme dos frutos, devido ao menor sombreamento.



Figura 5. Cobertura com tela plástica em pomar de macieira. Foto: L.P. Couto.

### 3.2 Seca e veranico

A maior parte das regiões produtoras de maçãs do Brasil localiza-se na Região Sul, sendo poucas as regiões localizadas na Região Sudeste. Enquanto no Sudeste há uma estiagem marcante durante parte do inverno, no Sul as estiagens são ocasionais, não ocorrendo em todos os anos. Geralmente, nesse período, também ocorrem temperaturas acima da média e baixa umidade do ar.

O veranico caracteriza-se por um período de alguns dias sem chuvas, dentro da estação chuvosa. Geralmente, nesse período, também ocorrem temperaturas acima da média e baixa umidade do ar. É possível realizar uma quantificação precisa dessas ocorrências através do balanço hídrico, considerando parâmetros e as necessidades da cultura (item 2.1 Disponibilidade hídrica). Porém, apesar de os veranicos serem considerados eventos adversos, falta estabelecer parâmetros objetivos para classificar o que é apenas um déficit hídrico normal e o que pode ser considerado um evento adverso.

Em condições de estresse temporário por estiagem, pode ocorrer lenta taxa de crescimento vegetativo

da planta, abscisão de flores e frutos jovens e redução do desenvolvimento dos frutos que, posteriormente, com a retomada do crescimento, após o fim do evento, podem rachar ou tornarem-se deformados.

### 3.3 Vento intenso

Ventos fortes e frequentes são prejudiciais à macieira. Os maiores danos ocorrem em áreas altas, planas e sem a presença de matas nativas ou quebra-ventos, que atuam como barreiras naturais.

Os ventos fortes ou de média intensidade podem aumentar a deriva de pulverizações, reduzindo a eficiência dos tratamentos fitossanitários, além de reduzir a atividade de abelhas e provocar queda de flores e frutos, causando, ainda, a inclinação das plantas (Figura 6), principalmente em pomares que utilizam porta-enxertos poucos vigorosos, com sistema radicular pouco profundo.



Figura 6. Efeito do vento na arquitetura da planta.

### 3.4 Geadas

Do ponto de vista meteorológico, geada é a deposição de gelo sobre as superfícies expostas ao relento, em noites de intenso resfriamento. Neste caso, temperatura de 0°C é suficiente para provocar geada.

Do ponto de vista agrônomo, geada é um fenômeno atmosférico que provoca a morte das plantas ou de suas partes, devido à ocorrência de baixas temperaturas que acarretam o congelamento dos tecidos, havendo ou não a formação de gelo sobre a planta.

Geadas tardias, após a floração e, ou, frutificação, podem comprometer a produção. No sul do Brasil são observadas geadas frequentes nos meses de setembro e outubro, que são períodos críticos para a cultura. Por tal razão, as cultivares muito precoces, que florescem em períodos de maior risco de geadas, devem ser evitadas. Embora sejam adotadas medidas de combate à geada, como a nebulização com fumaça, os métodos mais eficientes são os de caráter preventivo. Deve-se evitar o plantio em baixadas que não apresentem boas condições de escoamento do ar frio. O manejo dos quebra-ventos também contribui para a redução dos danos por geadas.

### 3.5 Chuva excessiva e, ou, excesso hídrico prolongado

O excesso de chuva é prejudicial, principalmente durante a floração e o início do ciclo vegetativo, pois pode reduzir a ação dos insetos polinizadores e aumentar a incidência de doenças, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular.

Períodos prolongados de chuva dificultam os tratamentos fitossanitários, aumentam a umidade relativa no interior da copa e tornam limitante o trânsito de máquinas em áreas de pouca drenagem. Além disso, em áreas mal drenadas, há maior ocorrência de morte de plantas devido a podridões de raízes. O preparo do solo e a drenagem da área, previamente ao plantio, ajudam a evitar problemas futuros.

Embora haja diferenças entre porta-enxertos quanto à tolerância ao excesso de água no solo, a asfixia do sistema radicular prejudica o desenvolvimento das raízes e a absorção de nutrientes em, praticamente, todos os porta-enxertos.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais regiões propícias para o cultivo da macieira, na Região Sul do Brasil, estão distribuídas nos municípios de Palmas, Guarapuava, Araucária e Capão Bonito, no Paraná; nas regiões de São Joaquim, Lages, Vale do Rio do Peixe e Campos de Hercilópolis, em Santa Catarina, Figura 7; na encosta superior do nordeste, Campos de Cima da Serra e região sul, no Rio Grande do Sul, Figura 8.

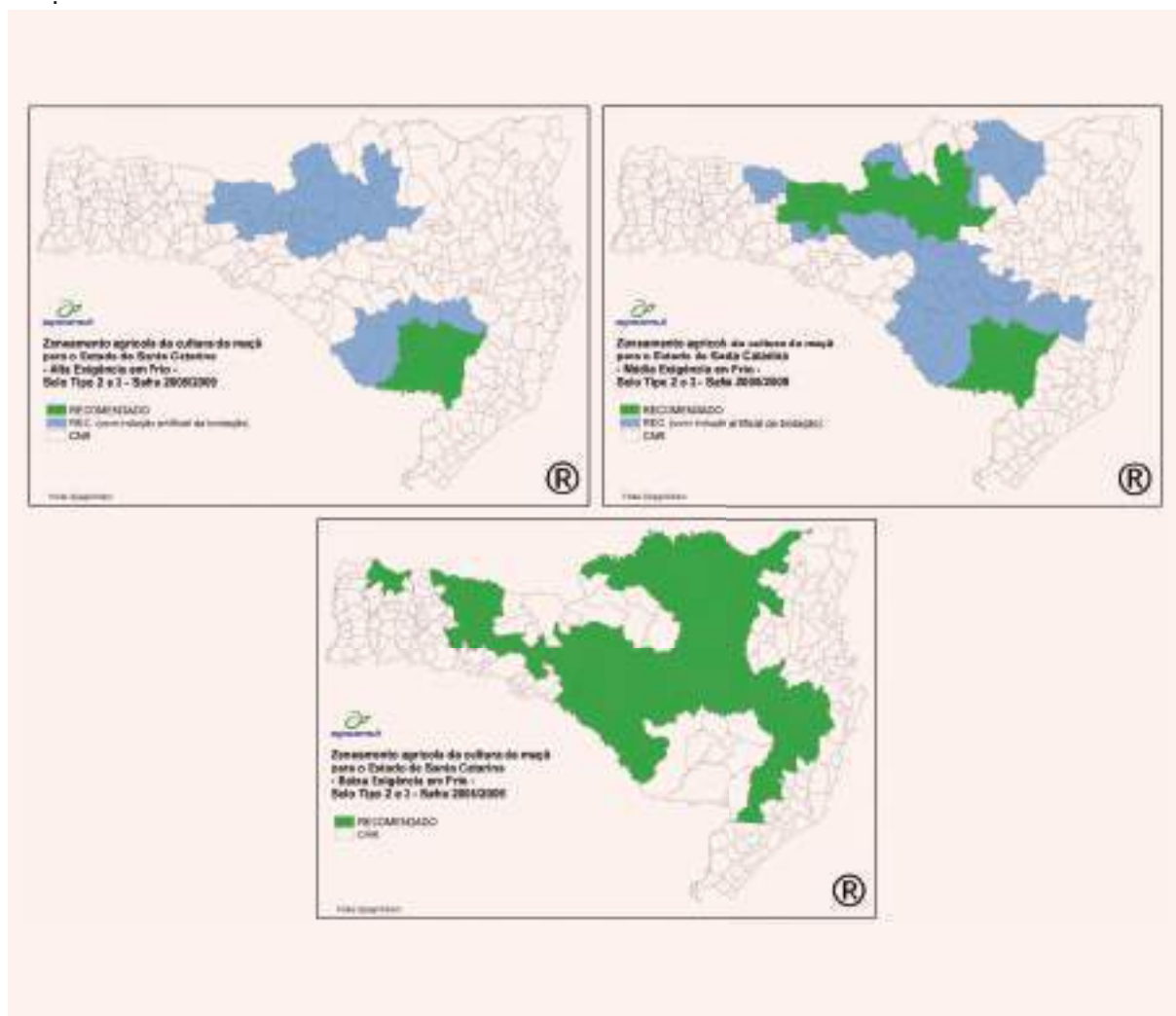


Figura 7. Zoneamento agrícola da cultura da macieira para o Estado de Santa Catarina, para cultivares de alta, média e baixa exigência em frio. (Fonte: Epagri/Ciram, 2009).

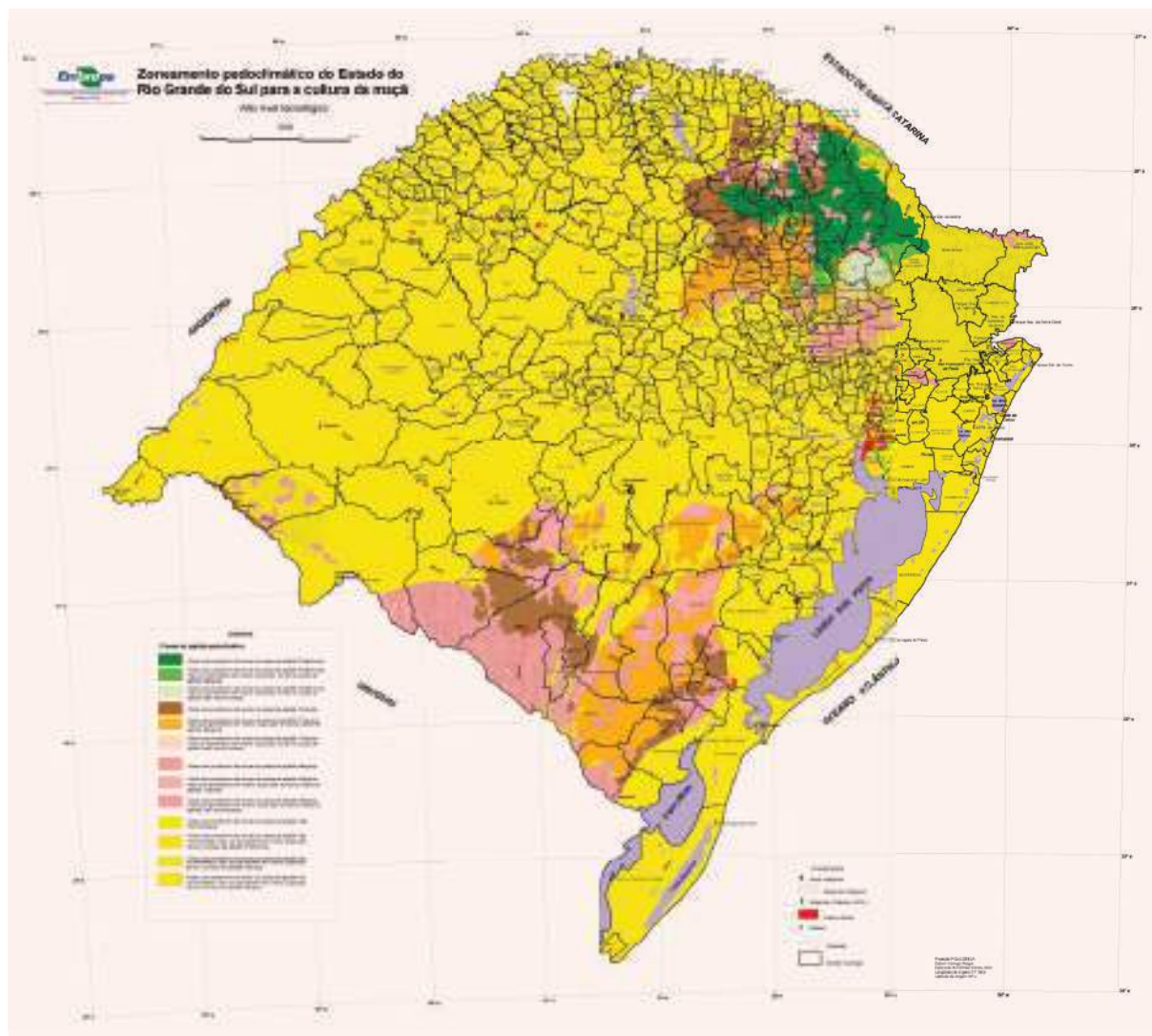


Figura 8. Zoneamento pedoclimático para a cultura da macieira no Rio Grande do Sul. Fonte: Chagas et al. (2000).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. **Informações estatísticas**. Disponível em: <<http://abpm.org.br>>. Acesso em: 6 jul. 2008.

BENDER, R. J. Botânica e fisiologia. In: EMPRESA CATARINENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1986. p. 26-49.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior. Departamento de Operações de Comércio Exterior. **Importações mercadorias por país**. [S.l.: s.n., 200-?].

CHAGAS, C. S. et al. **Zoneamento pedoclimático do Estado do Rio Grande do Sul para a cultura da maçã**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, 27).

EBERT, A. et al. **Capacidade de produção de macieiras**. Florianópolis: EMPASC, 1987. 23 p. (EMPASC. Boletim técnico, 41).

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **A cultura da macieira**. Florianópolis: EPAGRI, 2006. 743 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Centro de Informações de Recursos Ambientais e hidrometeorologia. **Zoneamento agrícola da cultura da macieira para o Estado de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://ciram.epagri.rct-sc.br>>. Acesso em : 3 mar. 2009.

GONÇALVES, J. S. et al. Produção, mercado e inserção internacional da maçã brasileira. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 95-136. 1996.

NACHTIGALL, G. R. (Ed.). **Maçã: produção**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho; Brasília,DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 171 p.

PETRI, J. L.; BLEICHER, J. **Manual Shell quebra de dormência e doenças da macieira**. São Paulo: Shell, 1990. 56 p.

POLA, A. C.; BLEICHER, J.; BERNARDI, J. Avaliação de modelos de unidades e horas de frio para a previsão do início de brotação em macieira, cv. Gala. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 16, n. 1, p. 105-118, 1994.

WREGE, M. S.; HERTER, F. G. **Efeito das mudanças climáticas globais na agricultura**. Palestra. Disponível em:< <http://www.cpaact.embrapa.br/agromet/> >. Acesso em : 8 jul. 2008.

# PINHÃO MANSO

Foto: Orgadem.org.br







# Pinhão manso

---

José Carlos Fialho de Resende<sup>(1)</sup>  
Rodrigo Meirelles de Azevedo Pimentel<sup>(1)</sup>  
Ana Cristina Pinto Juhász<sup>(1)</sup>  
Vânia Aparecida Silva<sup>(1)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie herbácea e arbustiva, pertencente à família Euforbiaceae, classificada como uma cultura perene, rústica e adaptada às mais diversas condições edafoclimáticas. O nome *Jatropha* deriva do grego *iatrós* (doutor) e *trophé* (comida), referindo-se às suas propriedades medicinais. *Curcas* é o nome comum para o pinhão-manso em Malabar, Índia, sendo uma das 8.000 espécies da família.

A espécie *Jatropha curcas* (Figura 1) é uma espécie diplóide com  $2n=22$  cromossomos (NUNES, 2007). A planta atinge de 3 a 5 m de altura, podendo alcançar até 12 m, com diâmetro de tronco de 20 cm (PEIXOTO, 1973). É uma planta perene não tradicional, pois nunca foi cultivada e utilizada em larga escala. Nos dias atuais, tem sido considerada, provavelmente, como a principal espécie apta à produção de biodiesel. É popularmente conhecida no Brasil como purgueira, pinha-de-purga, pinhão do Paraguai, pinhão-de-cerca, pião, pinhão-do-inferno, figo-do-inferno, grão-de-maluco, pinhão-das-barbadas, purgante-de-cavalo, manduigaçu, mandubiguaçu, sassi, turba, tartago, medicinaira, tapete, siclité e pinão-croá.



Figura 1. Plantas de pinhão-manso, em ensaio experimental em Janaúba - Norte de Minas Gerais (Fonte: Ana Júahz/Biojan)

---

Acredita-se que a espécie tenha origem na América do Sul, possivelmente no Brasil. Embora seja uma planta conhecida e cultivada no continente americano, desde a época pré-colombiana, o pinhão-manso encontra-se ainda em processo de domesticação e somente nos últimos 30 anos as suas características agrônômicas foram objetos de pesquisa. Tem sido encontrado em quase todas

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, CTNM / EPAMIG, Rodovia MGT 122, Km 155, Cx. Postal 12, CEP: 39525-000, Nova Porteirinha, MG. E-mail: jresende@epamig.br

as regiões intertropicais, estendendo-se da América Central, Índia, Filipinas, Timor, China, até às zonas temperadas, mas com menor ocorrência. No Arquipélago de Cabo Verde, em Angola, Guiné, Moçambique, nas Antilhas Britânicas, Filipinas, México, Porto Rico, Venezuela e El Salvador esta espécie tem valor econômico e industrial, como outras culturas (CORTESÃO, 1956; PEIXOTO, 1973).

Há diversos relatos anteriores sobre o uso do óleo e das sementes de pinhão-manso em lamparinas, candeeiros, archotes e, inclusive, na iluminação pública da cidade e arredores do Rio de Janeiro e de suas propriedades, por ser inodoro e não emissor de fumaça, quando queimado. Na África e na Ásia, durante a 2ª Guerra Mundial, o óleo das sementes do pinhão-manso foi utilizado como combustível em motores. Os efeitos farmacológicos das partes da planta têm sido estudados na medicina tradicional chinesa (STAUBMAN et al., 1999). A atividade bioquímica dos constituintes de *Jatropha curcas* tem sido investigada, principalmente seu princípio ativo, a toxialbumina jatropina (curcina) (BARBIERI et al., 1983; HUANG et al., 1991; LIN et al., 2002). Folhas, sementes e cascas, frescas ou cozidas, são usadas na medicina tradicional e veterinária.

Antigamente, o pinhão-manso era usado na fabricação caseira de sabão e, mais recentemente, como cerca viva. Seu maior atributo, entretanto, é o alto teor de óleo produzido pelas sementes, com 27 a 35 % de óleo, podendo frutificar por mais de 40 anos (OJEWOLW, ODEBIYI, 1980; MUNCH, KIEFER, 1989; SUJATHA, DHINGRA, 1993; CARNIELLI, 2003; ARRUDA et al., 2004; NUNES, 2007).

Devido às suas potencialidades, o cultivo do pinhão-manso vem se ampliando em todo o país, principalmente depois da liberação do plantio e da comercialização de sementes pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que aceitou a inscrição da planta no Registro Nacional de Cultivares, no início de 2008. O interesse pela planta e seu cultivo tem motivado a procura por sementes, por parte de agricultores e empresários brasileiros e estrangeiros. No entanto, ainda não foram estabelecidos os padrões internos para a produção e comercialização de sementes. Além disso, nas Regras para Análise de Sementes (RAS), do então Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (BRASIL, 1992), não constam informações sobre o teste de germinação desta espécie, tornando prementes os estudos que conduzam à padronização de procedimentos para a avaliação da qualidade das sementes.

O caule do pinhão-manso é liso, macio, esverdeado a cinza-castanho, cujo xilema ou lenho é pouco resistente, brando e sua medula desenvolvida. O floema encerra canais compridos que se prolongam até as raízes, nos quais circula o látex ou suco celular cáustico, que é segregado, em grande quantidade, ao menor golpe ou ferimento, o qual, depois de seco, torna-se uma substância acastanhada, com aspecto resinoso. A planta possui raízes curtas e pouco ramificadas. O tronco distribui-se em compridos ramos, desde a base da planta, apresentando numerosas cicatrizes provenientes da queda de folhas na estação seca, as quais ressurgem no início do período chuvoso.

As folhas do pinhão-manso são verde-brilhantes, largas, alternadas, em forma de palma, com três a cinco lóbulos, pecioladas, com nervuras esbranquiçadas e salientes na parte abaxial. É uma planta monóica, com flores femininas e masculinas na mesma inflorescência. As masculinas surgem em maior número, nas extremidades das ramificações e, as femininas, na base delas. Estas flores são amarelo-esverdeadas e diferenciam-se também pela ausência de pedúnculo articulado nas femininas, que são largamente pedunculadas. A abertura das flores femininas, na mesma inflorescência, ocorre em dias diferentes. Após abertura da primeira flor, as outras abrirão diariamente, em um período de 11 dias consecutivos (DIAS et al., 2007). Entretanto, em estudos preliminares na Epamig-CTNM foi verificado que o intervalo de abertura das flores varia muito pouco, de 2 a 4 dias, dependendo do número de flores femininas, ou seja, quanto maior a quantidade de flores femininas, maior será o intervalo de abertura. Estas flores que se abrem primeiro, muitas vezes não sendo as primeiras a se desenvolverem, indicam que o intervalo de abertura não determina a desuniformidade na maturação dos frutos, em um mesmo cacho. A polinização é realizada por insetos, principalmente por abelhas, formigas, tripes e moscas. Sob as condições climáticas do Norte de Minas Gerais, a floração do pinhão-manso ocorre após o período da seca. Conseqüentemente, o pico da colheita ocorre de fevereiro a abril, podendo se estender até julho, dependendo do prolongamento das chuvas ou das condições de irrigação. Da formação da flor ao fruto, são decorridos aproximadamente 60 dias.

O fruto de pinhão-manso é oval, do tipo cápsula, contendo três lóculos, apresentando 2,5 a 4,0 cm de comprimento e 2,0 a 2,5 cm de largura. As inflorescências do tipo cimeira produzem um número bastante variado de frutos. Lal e Mehera (2006) afirmam que, em cultivos na Índia, o número de frutos por inflorescência em plantas adultas é um pouco maior que dez, em média. Em plantio da Biojan, empresa localizada no Município de Janaúba, MG, produtora de sementes de pinhão-manso, verificou-se em plantas irrigadas por aspersão, com idade inferior a 1 ano, uma produção média um pouco superior a sete frutos por cacho, quando colhidos durante os meses de julho e agosto. Nesta mesma propriedade, já foram encontrados cachos com até 22 frutos em plantas de primeiro ciclo e, até 32, em plantas adultas. Os frutos podem ter de 33,7 a 45% de casca e, de 55 a 66%, de amêndoa. Nestas sementes são encontradas, ainda, 7,2% de água, 37,5% de óleo e 55,3% de açúcar, além de amido, albuminóides e materiais minerais, sendo 4,8% de cinzas e 4,2% de nitrogênio.

As inflorescências também se desenvolvem durante o período de crescimento vegetativo. Para cada ramo desenvolvido, uma nova inflorescência é produzida. Portanto, teoricamente, quanto maior a quantidade de ramos secundários, maior será a carga do pinhão-manso. Contudo, estas inflorescências começam seu desenvolvimento em períodos diferentes, por isso encontram-se, numa mesma planta, inflorescências já carregadas e, outras, começando a brotar.

Os frutos se desenvolvem até atingirem o máximo crescimento, quando então passam da cor verde para a amarela. Neste estágio, os frutos começam a rachar e os pedúnculos, geralmente, estão mais frágeis, facilitando o desprendimento do fruto. A partir daí, os frutos passam por um processo de degradação e morte celular, tornando-se marrons e, finalmente, ocorrendo a desidratação (Figura 2).



Figura 2. Fases de amadurecimento dos frutos de pinhão-manso (Fonte: BIOJAN)

Segundo Heller (1996), para o fruto desenvolver, exige-se uma demora de 90 dias, do florescimento ao amadurecimento. Saturnino et al. (2005) relataram que o fruto atinge o máximo desenvolvimento num período de dois meses, com crescimento concentrado entre a terceira e a quinta semana. Punia et al. (2008) observaram, na Índia, que o desenvolvimento das inflorescências demandaria em torno de um mês e, dos frutos até a maturidade, mais dois meses. Porém, os mesmos autores verificaram que os frutos de pinhão-manso desenvolvem-se mais rapidamente durante os meses mais quentes de verão, indicando que a temperatura ambiente tem influência sobre o referido processo.

Entretanto, fatores genéticos influenciam a velocidade de desenvolvimento do fruto (RAO et al., 2008). Vinte nove acessos foram avaliados quanto ao período necessário para o desenvolvimento do fruto, havendo variação de 35 a 54 dias, com média de 48,72 dias. Em um mesmo dentro, é possível notar diferenças de maturação entre os frutos. Muitas vezes, num mesmo cacho, encontram-se frutos pretos, frutos amarelos, em processo de amarelecimento e frutos totalmente verdes (Figura 3).



Figura 3. Desuniformidade no crescimento e maturação dos frutos de pinhão-manso (Fonte: EPAMIG/BIOJAN).

Em geral, as plantas oriundas de sementes desenvolvem raiz pivotante e quatro raízes laterais típicas, atingindo a idade produtiva e econômica após o quarto ano no campo. Por outro lado, as plantas provenientes de estacas têm sistema radicular menos vigoroso, sem raiz pivotante, porém têm produção ligeiramente precoce. Estima-se que a longevidade produtiva desta *Euforbiácea* situe-se entre 20 e 30 anos (DIAS et al., 2007). Nas comunidades rurais, a cultura é multiplicada, comumente, via estaquia e, às vezes, via sementes. Peixoto (1973) sugere o emprego da enxertia para a substituição dos indivíduos pouco produtivos.

Por ser uma planta dióica, de fecundação cruzada e entomófila, a propagação do pinhão-manso, por meio de sementes, resulta em uma grande variação entre indivíduos da espécie.

Quanto à produtividade, Achten et al. (2008) explicam que esta característica depende de uma série de fatores, como as condições edafoclimáticas locais, variabilidade genética, idade da planta e manejo, incluindo propagação, espaçamento, poda, adubação, irrigação, etc. Geralmente, as informações sobre estes fatores não são bem descritas quando se relata a produtividade do pinhão-manso. Severino et al. (2006) informaram que, na Índia, a produtividade até o terceiro ano é muito baixa. Após o 4º ano, a produtividade situa-se em torno de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> em condição de sequeiro e, de 5.000 kg ha<sup>-1</sup> em condições irrigadas. Com base em várias pesquisas, Heller (1996) cita produtividades variáveis de 100 a 8000 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em cultivos de 3 a 9 anos. Energy and Resources Institute - TERI (2005) cita alguns autores que determinaram a produtividade do pinhão-manso em diferentes sistemas de plantio, cujos resultados foram os seguintes: plantios em solos pobres, de 1,6 a 2,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e, também, de 1,5 a 2,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; plantios em solos médios, de 3,3 a 5,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em plantios irrigados ou em locais úmidos, as estimativas foram de 3,0 a 5,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

O óleo extraído do pinhão-manso tem as seguintes características principais: pureza, brancura, leveza, inodoro, incolor, 84% do poder calórico do diesel, padrão exigido pelo mercado europeu, ponto de solidificação inferior a -10 °C, predomínio do ácido linoléico favorável à polimerização, 79% insaturado, acidez inferior a 6% em sementes de um ano, e acidez inferior a 2% em sementes de seis meses.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

Pode-se afirmar que a distribuição geográfica do pinhão-manso é bastante vasta, devido à sua rusticidade e resistência a longas estiagens, adaptável às adversidades de solo e clima, sendo correto

afirmar, também, que seu crescimento e desenvolvimento são favorecidos por altas temperaturas e umidade, bem como por solos mais férteis. De fato, o pinhão-manso é encontrado tanto nas regiões tropicais secas quanto nas zonas equatoriais úmidas, assim como nos terrenos áridos, podendo suportar longos períodos de secas, embora com significativa redução da produção.

## 2.1 Disponibilidade hídrica

Considerado como tolerante à seca, o pinhão-manso pode se desenvolver em vários tipos de solo, inclusive nos arenosos, salinos, alcalinos e rochosos, os quais, sob o ponto de vista nutricional e físico, são restritivos ao pleno desenvolvimento das raízes.

Com relação aos índices pluviométricos, o pinhão-manso tolera condições de precipitações pluviométricas entre 480 e 2.380 mm por ano. Contudo, para boa produção, o ideal seriam valores acima de 600 mm de chuva por ano. Mesmo que a planta suporte longos períodos de estiagem, seu crescimento é paralisado, ocorrendo desfolha total e ausência de florescimento. Em tais condições, ela sobrevive às expensas da água armazenada em seus tecidos (SATURNINO et al., 2005). Embora seja considerada uma espécie adaptada às condições semi-áridas, com forte resistência à seca (ARRUDA et al., 2004), a produção do pinhão-manso reduz-se bastante em plantios de sequeiro (DRUMOND et al., 2007). Isso ocorre devido às alterações fisiológicas provocadas pela baixa disponibilidade de água para manter os processos metabólicos em alta atividade.

As trocas gasosas, por exemplo, são alteradas em função da disponibilidade hídrica. Na região semi-árida de Petrolina, PE, foi realizado um estudo de ecofisiologia de *J. curcas* sob irrigação e em regime de sequeiro (LIMA FILHO et al., 2007). A Tabela 1 apresenta valores de potencial hídrico e trocas gasosas encontrados nesta pesquisa. De acordo com os dados apresentados, há variações significativas no potencial hídrico do pinhão-manso, em função do sistema de cultivo. Em relação às trocas gasosas, em horários de maior demanda evapotranspiratória, a condutância estomática, a fotossíntese e a transpiração são menores nas plantas de sequeiro que nas plantas irrigadas. Isso demonstra que *J. curcas* pode limitar a transpiração pela redução da condutância estomática, permitindo, por mais tempo, a manutenção do estado hídrico da planta em condições de baixa disponibilidade hídrica. Entretanto, o fechamento dos estômatos restringe a fotossíntese e, conseqüentemente, reduz a produção (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

**Tabela 1. Potencial hídrico e trocas gasosas de pinhão-manso, cultivado em condições de sequeiro e sob irrigação, em Teresina-PI.**

Parâmetros	Período das medições	Irrigado	Sequeiro
Potencial hídrico (MPa)	Início da manhã	-0,57	-0,95
	10:00 – 12:00 h	-1,4	-1,7
Condutância estomática (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Início da manhã	0,20	0,15
	10:00 – 12:00 h	0,39	0,04
Fotossíntese (µmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Início da manhã	5,45	4,0
	10:00 – 12:00 h	12,0	0,0
Transpiração (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Início da manhã	1,71	1,85
	10:00 – 12:00 h	8,3	0,9

Fonte: Lima Filho et al., 2007

Henning (1996) relata que a planta de pinhão-manso cresce bem com chuvas anuais de 600 mm, sendo tolerante a longos períodos de estiagem, porém, em períodos de deficiência hídrica, a planta paralisa o crescimento. Por outro lado, em condições especiais como nas Ilhas de Cabo Verde, com chuvas acumuladas anuais de 250 mm, a elevada umidade do ar permite o suprimento hídrico adicional às plantas, devido à condensação de umidade.

O pinhão-manso é tolerante à seca, podendo sobreviver com apenas 200 mm anuais de chuva, por até três anos consecutivos de secas. Vairavan et al. (2007) estabelecem que, para o melhor crescimento da espécie, as precipitações devem situar-se entre 230 e 2000 mm. Chuvas de 600 a 800 mm, bem distribuídas ao longo do ano, parecem ser o ideal para a cultura.

Na Região Norte de Minas Gerais, tem-se observado que o pinhão-manso é capaz de desenvolver-se e produzir em condições de sequeiro, apenas com a água proveniente das precipitações, cerca de 1.200 mm, mal distribuídas ao longo do ano, isto é, chuvas concentradas entre os meses de novembro e fevereiro. Entretanto, os resultados preliminares das pesquisas realizadas sob condições de irrigação mostram efeitos positivos desta técnica, destacando-se melhor desenvolvimento das plantas, precocidade no início da produção, período de safras mais longo e aumento da produtividade, demonstrando que, embora o pinhão-manso seja resistente a períodos secos, esta planta necessita de um suprimento hídrico adequado e constante, para atingir seu potencial produtivo. Em Cuba, para se alcançar uma boa produção, há necessidade de irrigações de 900 a 1200 mm por ano.

## 2.2 Temperatura

As vias metabólicas são catalisadas por enzimas, cujas ações são afetadas pela temperatura. Com isso, a temperatura afeta todas as taxas de processos metabólicos, como fotossíntese, respiração, transpiração, entre outros, determinando as taxas de crescimento e o acúmulo de matéria seca (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A temperatura ótima para o crescimento do pinhão-manso está entre 30 e 40 °C. Entretanto, a cultura pode se estabelecer tanto em temperaturas baixas, quanto em altas (VAIRAVAN et al., 2007).

Pesquisas realizadas na Purdue University (1998) informam que o pinhão-manso desenvolve-se sob diversas condições climáticas, desde as regiões tropicais muito secas e úmidas, nas florestas subtropicais de espinho, até zonas de florestas úmidas, em temperaturas médias anuais entre 18,0 °C e 28,5 °C, com média de 25,2 °C, obtida em 45 casos.

## 2.3 Radiação solar

A radiação é o determinante básico do crescimento das plantas através de seus efeitos sobre a fotossíntese e outros processos fisiológicos, como a transpiração, a absorção de nutrientes e o florescimento. Aproximadamente, 28% do total da radiação solar incidente à superfície terrestre estão compreendidos entre os comprimentos de onda de 400 e 700 nm, denominada radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (NOBEL et al., 1993).

As folhas adultas de pinhão-manso são bem adaptadas a altas intensidades de radiação (BAUMGART, 2007). De acordo com a curva de resposta à luz, *J. curcas* é uma planta de sol, pois apresenta taxas fotossintéticas máximas em níveis de irradiância elevados, de 1750  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 2500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . De acordo com Liang et al. (2007), a taxa fotossintética máxima, sob alta irradiância, situou-se entre 9,8 e 14  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sendo o ponto de compensação de luz e a taxa máxima de utilização de luz de 45  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 3,52 %, respectivamente.

A quantidade de PAR interceptada por um dossel é função de sua estrutura, portanto, a eficiência do uso da radiação pelas plantas de *J. curcas* depende da interação entre o dossel e o ambiente. Esta interação define como os processos de fotossíntese e de transpiração são afetados pelos elementos climáticos, ou como a estrutura do dossel afeta a quantidade de radiação que incide sobre as diferentes camadas da planta (RUSSELL et al., 1989).

## 2.4 Fotoperíodo

Não foi encontrada na literatura nenhuma informação sobre o comportamento do pinhão-manso em relação ao fotoperíodo. Portanto, devem ser conduzidos estudos visando à determinação deste parâmetro em relação à espécie. As informações disponíveis sobre a fisiologia do pinhão-manso são ainda bastante incipientes. Neste contexto, as poucas informações sobre o crescimento vegetativo e reprodutivo, em vários ambientes e sistemas de cultivo, resumem-se a aspectos observacionais, sem a exploração dos mecanismos fisiológicos que explicariam aqueles processos, incluindo a influência do fotoperíodo.

## 2.5 Ventos

Conforme Brasil (1985), não obstante a tolerância à seca, a produtividade do pinhão-manso é bastante afetada pela distribuição irregular de chuvas e também pela ação prolongada de ventos na época da floração.

São necessários estudos para a definição criteriosa da ação do vento sobre as diferentes espécies de *Jatropha*. Segundo Cortesão (1956) e Peixoto (1973), o cultivo do pinhão-manso é mais indicado em regiões que apresentam entre 500 e 800m de altitude. Nos terrenos de encosta, áridos e expostos ao vento, a cultura desenvolve-se pouco, não ultrapassando os 2m de altura.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo

Pouco se sabe sobre o efeito do granizo na cultura do pinhão-manso. Espera-se que a ação deste evento sobre o pinhão-manso não seja muito diferente do que ocorre com a maioria das espécies, ou seja, possivelmente ocorrerão danos mais ou menos severos à estrutura da planta e, conseqüentemente, à sua longevidade e produtividade, a depender também da intensidade do fenômeno.

### 3.2 Seca e veranico

Conforme informado no item 2.1, a planta de pinhão-manso é tolerante a longos períodos de estiagem, porém, com precipitações abaixo de 600 mm ela paralisa o crescimento, exceto sob condições especiais. É tolerante à seca, podendo sobreviver com apenas 200 mm anuais de chuvas, por até três anos consecutivos de secas. Quanto ao veranico, este fenômeno não é detectado como limitante ao crescimento da planta, mas certamente é um dos fatores que restringem a produtividade.

### Vendaval (vento intenso)

A ação prolongada de ventos, na época da floração, induz à queda da produtividade, seja relacionada à redução na polinização, seja como perda de área foliar e quebra de ramificações.

### 3.4 Geadas

Segundo Tamil Nadu Agricultural University (20-?), o pinhão-manso pode tolerar extremos de temperaturas, mas não geadas. Esta é uma planta xerófila, tolerando bem a períodos de seca e calor (ou frio), podendo paralisar seu crescimento durante os períodos mais críticos, apresentando desfolha total e vivendo à custa da água armazenada em seu caule (EPAMIG, 2005).

Segundo Saturnino et al. (2005), o pinhão-manso não tolera geadas fortes, mas pode sobreviver a geadas fracas, porém perdendo todas as folhas, o que afeta a produção.



### 3.5 Chuvas excessivas

O pinhão-manso tolera condições de precipitações pluviométricas de 480 a 2.380 mm por ano. No entanto, a planta não tolera encharcamento e, por isso, deve-se evitar seu cultivo em solos rasos, mal drenados, com lençol freático alto e sujeitos a inundações.

### 3.6 Chuvas na colheita

Por ocasião da colheita, se as chuvas forem intensas e prolongadas, o maior prejuízo estará relacionado à dificuldade de efetuar a operação de colheita, principalmente a mecanizada, quando houver.

Chuvas prolongadas na colheita induzem à germinação das sementes dentro dos frutos, fato observado em ensaios de pesquisa conduzidos na Fazenda Experimental da EPAMIG, no Norte de Minas Gerais, na safra 2007/2008, implicando em queda na produtividade do pinhão-manso. Observou-se, ainda, redução na qualidade fisiológica e sanitária das sementes, com redução na germinação, aumento da presença de fungos patogênicos e saprófitas e consequente descarte do material colhido.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do pinhão-manso não possui um sistema de produção minimamente validado, para que se possa recomendar a forma de propagação (sementes, estacas, mudas), a população de plantio, adubação, períodos e técnicas de podas, como e quando fazer a colheita, entre outros. Estes estudos estão sendo conduzidos por diversas instituições de pesquisa e por empresas privadas. Considerando-se que o pinhão-manso é uma espécie perene, as avaliações de suas características devem ser realizadas por períodos consecutivos de pelo menos cinco anos, para se ter confiabilidade nos dados médios.

Espera-se que a produção de energia, por meio da biomassa do pinhão-manso, possa ter um bom desenvolvimento como fonte alternativa, além de melhorar o ambiente, aumentar a biomassa florestal e incrementar a biodiversidade. Pode ser útil, também, na recuperação de solos degradados e esgotados, bem como na mitigação das emissões de gases poluentes para a atmosfera.

A produção de biomassa em um sistema agroflorestal de *Jatropha curcas* é de, aproximadamente, 1,835 toneladas equivalentes de petróleo (TEP) por hectare, podendo ser convertida em 0,305 TEP ha<sup>-1</sup> de biodiesel. O balanço energético para o pinhão-manso é de 1:3,5 a 1:5, segundo experiência internacional, o que é superior ao obtido em outras agroindústrias, à exceção da cana-de-açúcar que, em Guantánamo, Cuba, é de 1:1,8.

Como toda cultura, o pinhão-manso apresenta vantagens e desvantagens. Como desvantagens, podem ser mencionadas as seguintes:

- Existe pouco conhecimento agrônômico sobre esta planta e quase nada sobre a bioquímica e fisiologia;
- Circulam muitas informações não confiáveis e até distorcidas, em vários veículos de comunicações, como produtividades elevadas e altíssimo teor de óleo;
- É uma espécie caducifólia e, apesar de resistente à seca, pode ter a produtividade comprometida em regiões com precipitações pluviais abaixo de 600 mm ano<sup>-1</sup>;
- Apresenta elevada variabilidade natural, grande diversidade genética, polinização preferencialmente entomófila e alta taxa de alogamia, floração descontínua e desuniformidade de maturação;
- Pouco se sabe sobre a viabilidade desta cultura, sobre seu sistema de cultivo e populações ideais;
- É sensível à salinidade da água de irrigação, na faixa de zero a 4,2 dS m<sup>-1</sup>, sensível ao frio, à compactação e ao encharcamento do solo.
- Entre as vantagens do cultivo do pinhão-manso, destacam-se:
- É planta bem adaptada, podendo crescer e sobreviver com poucos cuidados em terras marginais de pouca fertilidade e de baixa disponibilidade hídrica;

- Apresenta crescimento rápido e grande longevidade, sobrevivendo a secas severas, como vem ocorrendo, por exemplo, em Orissa, Índia, e Guantánamo, Cuba;
  - É de fácil propagação e as sementes, por serem tóxicas e não comestíveis, não são alvo de pragas, pássaros ou outros animais;
  - As variações de acidez nas sementes são pouco expressivas, mesmo em períodos longos de armazenamento. Sementes condicionadas em sacos, durante mais de 1 ano, apresentaram acidez livre inferior a 6%. Por outro lado, a manutenção de grãos recém-coletados em secadores, por períodos de até 6 meses, não implica em alterações substanciais no grau de acidez das amostras, cujo teor em ácidos graxos livres foi sempre inferior a 2%, o que resulta em menores custos de sua produção agrícola;
  - O biodiesel produzido a partir do óleo foi testado analiticamente e classificado como promissor;
  - Como espécie rústica, pode ser empregada no controle de erosão e no manejo da fertilidade do solo;
  - Pode ser utilizada como fonte de energia e como alternativa de renda, nas áreas rurais;
  - A torta pode ser usada como composto orgânico e fertilizante;
- Tem potencial na produção de matéria-prima para a indústria farmacêutica.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHTEN, W. M. J. et al. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, v. 32, n. 12, p.1063-1084, 2008.
- ALBUQUERQUE, F. A. et al. Ocorrência do ácaro *Polyphagotarsonemus latus* Banks (*Acarí: Tarsonemidae*) sobre plantas de pinhão-manso, *Jatropha curcas* L., (*Euphorbiaceae*), no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2004, Campina Grande. Disponível em: <[http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/trabalhos\\_cbm2/048.pdf](http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/trabalhos_cbm2/048.pdf)>. Acesso em: 15 de abril de 2008.
- ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.
- BARBIERI, L.; BATTELLI, M. G., STIRPE, F. Ribosome nactivating proteins from plants. *Biochimica Biophysica Acta*, Amsterdam, v. 1154, n. 3/4, p. 237-282, 1983.
- BAUMGART, S. *Jatropha* cultivation Belize. EXPERT SEMINAR ON *JATROPHA CURCAS* L. AGRONOMY AND GENETICS. 2007, Wageningen. Disponível em: <<http://www.pri.wur.nl/NR/rdonlyres/90AF26A1-47D5-4F2F-9E96-D413C2933685/70109/JatrophaWorld2008Agronomy.pdf>>. Acesso em: 2 jul. 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SND/CLAV, 1992. 365 p.
- BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília, DF, 1985. 346 p. (Ministério da Indústria e do Comércio. Documentos,16).
- CARNIELLI, F. O combustível do futuro. 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim/bol1413/>>. Acesso em: 12 maio 2008.
- CORTESÃO, M. **Culturas tropicais**: plantas oleaginosas. Lisboa: Clássica, 1956. 231 p.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Piracicaba, v. 18, p. 55-81, 2006.
- DIAS, L. A. S. et al. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível. Viçosa, MG, 2007. v. 1. 40 p. Edição do autor.
- DRUMOND, M. A. et al. Produção de pinhão manso no Semi-árido brasileiro. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1., 2007, Teresina. Energia de resultados: anais. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2007. 1 p. CD-ROM. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 143).
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. PROJETO Pinhão Manso EPAMIG/FINEP: relatório final relativo ao 1º período encerrado a 31 de março de 1985. In: Coletânea sobre pinhão manso na EPAMIG. Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <http://www.epamig.br/informativos/pinhaomanso.pdf>. Acesso em: 25 de maio 2005.
- GOUR, V. K. Production practices including post harvest management of *Jatropha curcas* In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (Ed.). Biodiesel Conference Toward Energy Independence — focus of *Jatropha*. Nova Delhi: Rashtrapati Bhawan; 2006. p. 223-251. Papers presented at the Conference Rashtrapati Nylayam, Balaram, Hyderabad on 9-10 June, 2006.
- HELLER, J. Physic nut *Jatropha curcas*: promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome: IPGRI, 1996.
- HENNING, R. K. Combating desertification: The *Jatropha* Project of Mali, West Africa. *Arid lands Newsletter*. Tucson, The CCD Part I: Africa and the Mediterranean, n. 40, Fall/Winter, 1996. Disponível em: <<http://ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln40/aln40toc.html>>. Acesso em: 25 ago. 2005.
- HUANG, D. R. et al. Purification and partial characterization of toxin from *Jatropha curcas*. *Progress in Biochemical Biophysics*, London, v. 8, n. 2, p. 149-151, 1991.
- LAL, S. B.; MEHERA, B. Importance of raising elite planting material of *Jatropha curcas* L. for energy independence of India. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (Ed.). Biodiesel Conference Toward Energy Independence — focus of *Jatropha*. Nova Delhi: Rashtrapati Bhawan; 2006. p.197-201. Papers presented at the Conference Rashtrapati Nylayam, Balaram, Hyderabad on 9-10 June, 2006. p.
- THE ENERGY AND RESOURCES INSTITUTE (TERI). Liquid biofuels for transportation: India country study on potential and implications for sustainable agriculture and energy. Nova Delhi, 2005. 94 p.
- LIANG, Y. et al. Responses of *Jatropha curcas* seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 131, p. 508–517, 2007.
- LIMA FILHO, J. M. P. et al. Comportamento ecofisiológico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) sob condições semi-áridas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS, 1., 2007, Teresina. Energia de resultados: anais. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2007. 1 p. CD-ROM. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 143).

LIN, J. et al. Isolation, purification and functional investigation on the N-glycosidase activity of curcumin from the seeds of *Jatropha curcas*. High Technology Letters, Beijing, v. 11, n. 1, p. 36-40, 2002.

MUNCH, E.; KIEFER, J. F. Purging nut (*Jatropha curcas* L.) multiple use plant as source of fuel in the future. Schriftenreihe der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Stuttgart, v. 209, n. 1, p. 32, 1989.

NOBEL, P. S.; FORSETH, I.; LONG, S. P. Canopy structure and light interception. In: HALL, D. O. et al. Photosynthesis and production in a changing environment. London: Chapman & Hall, 1993. p. 79-90.

NUNES, C. F. Caracterização de frutos, sementes e plântulas e cultivo de embriões de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Fitotecnia))-Universidade Federal de Lavras, 2007.

OJEWOLE, J. A. O.; ODEBIYI, O. O. Neuromuscular and cardiovascular action of tetramethylpyrazine from stem of *Jatropha curcas*. Planta Medica, Stuttgart, v. 38, n. 4, p. 8, 1980.

PARAMATHMA, M. et al. *Jatropha* an introduction and development in India. In: PARAMATHMA, M.; VENKATACHALAM, P.; SAMPATHRAJAN, A. *Jatropha* improvement management and production of biodiesel. Coimbatore: Centre of Excellence in Biofuels, Tamil Nadu Agricultural University, 2007. p. 20-29.

PEIXOTO, A. R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 284 p.

PUNIA, M. S. et al. R&D Report on Tree Borne Oilseeds, 3rd: 2007-2008. Gurgaon: National Oilseeds and Vegetable Oils Development Board, Ministry of Agriculture, Government of India, 2008. 87 p.

PURDUE UNIVERSITY. *Jatropha curcas* L. 1998. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/default.html>>. Acesso em: 14 abr. 2005.

RAO, G. R. et al. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. Trees - Structure and Function, Berlin, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.

RUSSEL, G.; JARVIS, P. G.; MONTEITH, J. L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSEL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. (Ed.). Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 21-39.

SATURNINO, H. M. et al. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SEVERINO, L. S. et al. Viagem à Índia para prospecção de tecnologia sobre mamona e pinhão-manso Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 56 p. (Documentos, 153).

STAUBMANN, R. et al. Esterase and lipase activity in *Jatropha curcas* L. Journal Biotechnology, Amsterdam, v. 75, n. 2/3, p. 117-126, 1999.

SUBRAMANIAM, P.; VENKATESAN, N.; VENKATACHALAM, P. *Jatropha* seed crushing technology. In: PARAMATHMA, M.; VENKATACHALAM, P.; SAMPATHRAJAN, A. *Jatropha* improvement management and production of biodiesel. Coimbatore: Centre of Excellence in Biofuels, Tamil Nadu Agricultural University, 2007. p. 96-104.

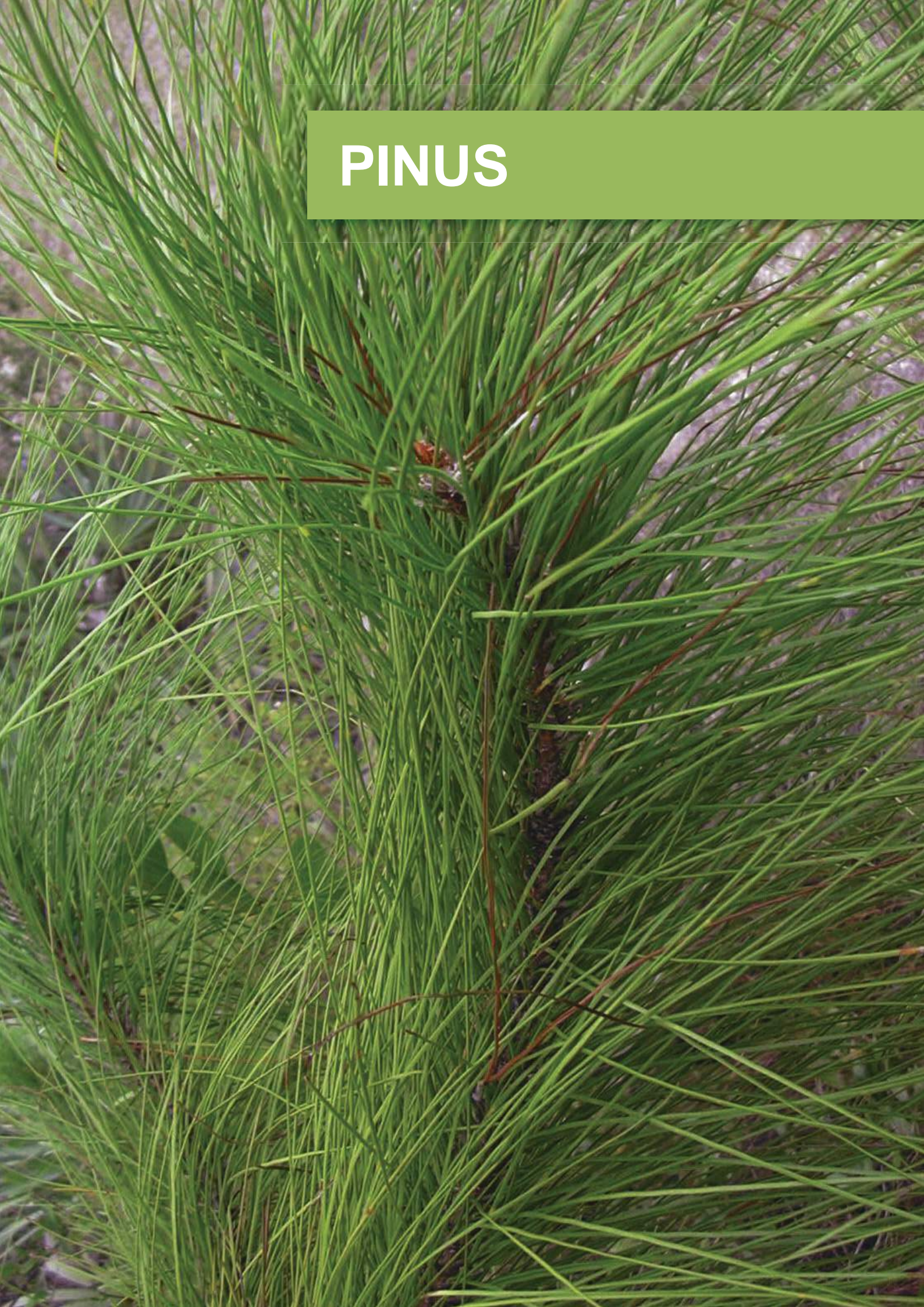
SUJATHA, M.; DHINGRA, M. Rapid plant regeneration from various explants of *Jatropha integerrima*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, Dordrecht, v. 35, n. 3, p. 293-296, 1993.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAMIL NADU AGRICULTURAL UNIVERSITY. **JATROPHA** production technology. Coimbatore: Tamil Nadu Agricultural University, [200-?]. Disponível em: <<http://tnau.ac.in/tech/swc/evjatropha.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2005.

VAIRAVAN, K.; P.; SAMPATHRAJAN, A. *Jatropha* improvement, management and production of biodiesel. Coimbatore: Centre of Excellence in Biofuels; Tamil Nadu Agricultural University, 2007. p. 64-70.

# PINUS





## 1. INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos referentes às espécies de *Pinus* Subtropicais foram feitos a partir de 1936 pelo atual Instituto Florestal de São Paulo, oportunidade em que foram introduzidas as primeiras sementes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e de *Pinus taeda* (KRONKA et al., 2005).

Outras espécies de *Pinus* foram introduzidas no Brasil e, em função das diferenças entre condições das regiões de origens e dos locais de introdução, algumas não se adaptaram. A introdução de espécies de regiões tropicais tornou viável a produção de *Pinus* em todo o Brasil, constituindo importante fonte de madeira para usos gerais, englobando a fabricação de celulose e papel, lâminas e chapas de diversos tipos, madeira serrada para fins estruturais, confecção de embalagens, móveis e marcenaria em geral (KRONKA et al., 2005; EMBRAPA, 2005).

A utilização preferencial de *Pinus* deve-se principalmente aos seguintes fatores:

- O amplo espectro de espécies torna possível a escolha de uma que melhor se adapte às respectivas condições ambientais do sítio;
- Muitas dentre elas têm uma amplitude muito vasta em relação ao sítio;
- Um bom número consegue desenvolver-se mesmo em solos pobres e secos por natureza ou devastados e abandonados;
- Muitas espécies apresentam um rendimento volumétrico elevado ou até muito elevado, mesmo em condições ambientais desfavoráveis;
- Por serem espécies pioneiras pouco exigentes, os *Pinus* prestam-se bem para o florestamento, assim como para o plantio de povoamentos simples e esquemáticos (monoculturas/corte raso);
- Os *Pinus* produzem, em grande quantidade e qualidade constante, um tipo de madeira característico de coníferas o qual, com sua limitada ocorrência natural nos trópicos, é particularmente necessitado como matéria-prima para a fabricação de celulose, papel, chapas, etc. (LAMPRECHT, 1990).

De acordo com a escala taxonômica segundo A.Schultz, o gênero *Pinus* pertence a subfamília *Pinoideae*, família *Pinaceae*, ordem *Coniferae*, classe *Coniferopsida*, subdivisão *Gymnospermae*, divisão *Embryophytae siphonogamae* (*Spermatophytae*) e reino *Plantae* ou *Vegetal*.

### Introdução, Expansão no Brasil e Importância Atual

A cultura do *Pinus* no Brasil iniciou-se na década de 40, principalmente na região sul. Graças à sua versatilidade, adaptabilidade e crescimento rápido, fizeram com que este gênero tenha se espalhado e desenvolvido principalmente nas regiões sul e sudeste. Atualmente, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* são as espécies mais plantadas no Brasil.

Uma das razões mais importantes para a introdução do *Pinus* no Brasil foi à necessidade da produção de madeira para abastecimento industrial, para processamento mecânico, na produção de madeira serrada, madeira laminada, na confecção de painéis ou na produção de celulose e papel (KRONKA et al., 2005). Isto aconteceu porque, com a crescente escassez da madeira de araucária ou pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*, Benth.) cuja madeira possui grande versatilidade de emprego, a pesquisa e conseqüentemente

---

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, Rua Máximo João Kopp, 274, Curitiba, PR, CEP 80630-900. E-mail: leocadio@iapar.br

2- Eng. Florestal, Mestre, Pesquisador, IAPAR. E-mail: mdurigan@iapar.br

3- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, IAPAR. E-mail: caramori@iapar.br

4- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, IAPAR. E-mail: dalziza@iapar.br

5- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, IAPAR. E-mail: heverly@iapar.br

o interesse tenham se voltado para o reflorestamento do *Pinus*, espécie de rápido crescimento. Sua resina também é aproveitada pela indústria, para os diferentes usos, além de parte ser exportada.

Os maiores plantios de *Pinus* localizam-se na China (7.629.000ha), vindo a seguir o Brasil (1.690.000ha), Chile (1.380.000ha), Nova Zelândia (1.338.000ha) e Coréia (922.000ha) (Bull et al., 1998 citado por KRONKA et al., 2005). Segundo dados da ABRAF (2008), em 2006 as áreas com florestas plantadas de *Pinus* no Brasil totalizavam em 1.824.270ha, sendo o Paraná com 686.453ha, Santa Catarina com 530.992ha, Rio Grande do Sul com 181.378ha, Minas Gerais com 152.000ha e São Paulo com 146.474ha.

A escolha da espécie está em função da sua adaptação edafoclimática e o correto manejo. As Tabelas 01 e 02 apresentam as espécies de *Pinus* indicada para o Brasil, em função do clima e do solo (MARTO, 2006).

**Tabela 01. Espécies de *Pinus* indicada em função do clima.**

Espécies	Equatorial	Tropical Brasil Central	Tropical Zona Equatorial	Temperado
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	X	X	X	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	X	X	X	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	X	X	X	
<i>Pinus chiapensis</i>				X
<i>Pinus echinata</i>				X
<i>Pinus elliotii</i>		X		X
<i>Pinus greggi</i>				X
<i>Pinus hartwegii</i>				X
<i>Pinus kesiya</i>		X		X
<i>Pinus leiophylla</i>				X
<i>Pinus maximinoi</i>	X	X	X	X
<i>Pinus merkusii</i>				X
<i>Pinus montezumae</i>		X		X
<i>Pinus oocarpa</i>	X	X	X	
<i>Pinus palustris</i>				X
<i>Pinus patula</i>		X		X
<i>Pinus pinea</i>				X
<i>Pinus pinaster</i>				X
<i>Pinus ponderosa</i>				X
<i>Pinus pseudostrobus</i>		X		
<i>Pinus radiata</i>				X
<i>Pinus roxburghii</i>				X
<i>Pinus strobus</i>				X
<i>Pinus sylvestris</i>				X
<i>Pinus taeda</i>		X		X
<i>Pinus tecunumanii</i>		X		
<i>Pinus virginiana</i>				X
<i>Pinus wallichiana</i>		X		X

Fonte: MARTO, 2006

Tabela 02. Espécies de *Pinus* indicada em função do solo.

Espécies	Argilosos	Textura Média	Arenosos	Hidromórficos	Distróficos
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	X		X		
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	X		X		
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	X		X	X	
<i>Pinus chiapensis</i>				X	
<i>Pinus contorta</i>				X	
<i>Pinus elliotii</i>		X	X	X	X
<i>Pinus hartwegii</i>			X		
<i>Pinus kesiya</i>		X			
<i>Pinus leiophylla</i>			X		
<i>Pinus maximinoi</i>			X		
<i>Pinus palustris</i>				X	
<i>Pinus pinaster</i>			X		
<i>Pinus taeda</i>	X		X	X	
<i>Pinus tecunumanii</i>	X		X	X	

Fonte: MARTO, 2006

### Área de Ocorrência, Ecologia e Silvicultura

#### *Pinus elliotii* Engelm.

Composto de duas variedades distintas – *Pinus elliotii* var. *elliotii* e *Pinus elliotii* var. *densa* –, tem sua área natural de ocorrência no sudeste dos Estados Unidos. A variedade *elliotii* ocorre no sul dos Estados do Mississippi, Alabama, Geórgia, e Carolina do Sul, bem como no norte da Flórida, entre os paralelos 28° e 33°N. Em sua área natural de ocorrência, restringe-se a altitudes de 0 a 150m. Nas áreas tropicais de plantações, seu reflorestamento é feito, sobretudo, em altitudes de 500 a 2.500m (Harlow et al., 1969; Webb et al., 1980 citados por LAMPRECHT, 1990). A variedade *densa*, de menor importância para as plantações comerciais, tem sua área natural de ocorrência limitada ao extremo sul da Flórida, onde ocorrem chuvas estacionais, predominantemente no verão, com pequeno déficit hídrico no inverno e primavera (LAMPRECHT, 1990; EMBRAPA, 2005).

O solo pode ser de textura leve a pesada, geralmente ácido, com drenagem média a boa, suportando curtos períodos de alagamento e solos rasos. Espécie heliófila, de rápido crescimento e alta competitividade. No ambiente natural é tida como sensível ao fogo; essa sensibilidade não é constatada nos campos do sul do Brasil (MARCHIORI, 1996).

As árvores alcançam de 20 a 30m de altura (máximo de 40m), com DAP de 60 a 90cm. O tronco delgado é bem retilíneo na maioria dos casos. A copa é nitidamente ovóide. As raízes podem penetrar no solo até uma profundidade de 5m ou mais. A casca, acinzentada e sulcada em indivíduos jovens



e marrom-avermelhada em indivíduos adultos, apresenta placas espessas. As acículas reunidas em fascículos de 2 ou 3, com comprimento entre 12 a 36cm, flexíveis, de cor verde-brilhante e com a margem finamente serrilhada. Possuem de 2 a 10 canais resiníferos, situados internamente no mesófilo, e bainha persistente. Produzidos no início da primavera, os estróbilos masculinos concentram-se na extremidade de brotos jovens e os estróbilos femininos são pedunculados, em grupos de 2 a 4, raramente 6, a princípio eretos, depois, horizontais e finalmente voltados para baixo, ovais ou cilíndricos, comumente 12 a 15cm de comprimento. Sementes triangulares, de 5 a 7mm de comprimento, pretas e aladas (LAMPRECHT, 1990; PINUSLETTER, 2008b). A idade de produção de sementes para *P. elliotii* no Brasil, é de 7 a 8 anos, ou excepcionalmente, aos 5 anos, Bechara (2003) citado por MONTEIRO (2005).

No Brasil, a variedade *elliotii* requer clima fresco com inverno frio e disponibilidade de umidade constante durante. É indicado para plantio em toda a região sul e sudeste do Brasil, inclusive nas planícies costeiras e em locais com solos encharcados (banhados). No entanto, a atividade de extração de resina deverá ser restrita às regiões com temperatura mais alta do que no planalto sul, para se obter maior rendimento. A região mais apropriada ao seu maior crescimento e produtividade de madeira avança até os cerrados no sul de São Paulo, onde as altas temperaturas e a ocorrência de déficit hídrico, em parte do ano, limitam o desenvolvimento de espécies como *Pinus taeda* (EMBRAPA, 2005). Encontra condições ideais de crescimento desde o Rio Grande do Sul até o centro do Paraná e sul de São Paulo. Pode também ser cultivado em áreas de maiores altitudes (Serra da Mantiqueira, do Mar, Bocaina e dos Órgãos). Requer chuvas uniformemente distribuídas durante o ano, invernos frios e sem déficit hídrico (KRONKA et al., 2005).

Como espécie heliófila de crescimento rápido, *Pinus elliotii* var. *elliotii*, goza de alta competitividade em relação às gramíneas e arbustos lenhosos. Em florestas naturais, a produção regular de sementes tem início a partir dos 20 anos de idade e só alcança quantidades comercialmente interessantes a cada 3 anos. O peso por mil sementes oscila entre 29 e 37g (com 27.000 a 34.000 unidades/kg) (LAMPRECHT, 1990).

O espaçamento em plantações é geralmente 2,5m x 2,5m. Em sua maioria, as plantações destinam-se à produção de madeira industrial, com uma rotação aproximada de 20 anos. No caso da madeira comercial, faz-se necessária, a partir da idade 8 a 12 anos, a execução regular de desbastes e podas em intervalos de 5 a 10 anos. Rica em resina, a madeira de *Pinus elliotii* var. *elliotii* é mais densa e dura do que a das demais espécies de *Pinus* (LAMPRECHT, 1990).



Figura 01. Regiões potencialmente aptas para cultivo de *Pinus* spp. no Brasil. (Fonte: KRONKA, et al., 2005)

### ***Pinus taeda* L.**

O *Pinus taeda* ocorre em toda a região dos Estados Unidos, desde Delaware, no nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi (EMBRAPA, 2005). Sua faixa de dispersão vai desde o nível do mar até 2.500m de altitude, ocasionalmente até 4.500m, com ampla variação do tipo de solo (KRONKA et al., 2005).

Em sua região de origem, os solos são de textura leve a pesada, geralmente ácido, com drenagem média, suportando curtos períodos de alagamento. Espécie heliófila, de rápido crescimento e alta competitividade (MARCHIORI, 1996; EMBRAPA, 2005).

No Brasil, esta espécie se desenvolve bem nas regiões com clima fresco e inverno frio, com disponibilidade constante de umidade durante o ano, em solo bem drenado, onde não haja déficit hídrico. Esta condição é encontrada em todo o planalto das regiões sul e sudeste, isto inclui as partes serranas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, bem como as partes mais chuvosas do sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais (EMBRAPA, 2005).

As árvores que pode atingir mais de 20m de altura e 100cm de DAP, produzindo copa densa, casca gretada e ramos acinzentados. Copa ligeiramente arredondada e densa. Acículas reunidas em grupos de 3 por fascículos, com comprimento de 15 a 20cm, de cor verde-escura. Cones masculinos cilíndricos e amarelados, com intensa dispersão de pólen no período de polinização. Os cones femininos subterminais ou laterais, séssies ou sub-sésseis, muito persistentes, ovado-oblongos, com 6 a 12cm de comprimento e são dotados de escamas espinhosas. Sementes pequenas, cerca de 5mm de comprimento, com asas de 2,0 a 2,5cm de comprimento e 0,5 a 1,0cm de largura. A dispersão do pólen e das sementes é realizada pelo vento (anemocóricas). Quando árvore adulta em povoamentos comerciais pode chegar aos 30 a 40m de altura (PINUSLETTER, 2008a; KLECHOWICZ, 2008).

As flores femininas das Pinaceae são denominadas de cone. Apresentam um eixo central de onde partem as escamas. Na base de cada escama, junto ao eixo, encontram-se dois óvulos, visíveis a olho nu, com expansões alares. Antes da fertilização, o cone ou conídio, possui coloração verde, passando a adquirir cor marrom e aspecto lenhoso entre a fertilização e a maturação da semente, aumentando consideravelmente de tamanho neste período. O estróbilo, flor masculina, é de menor tamanho que o cone, com coloração amarela por ocasião da dispersão do pólen. Constitui-se por um eixo central de onde partem numerosas escamas onde se encontram localizados os sacos polínicos contendo o grão de pólen (FURB, 2008).

As espécies de *Pinus* produzem frutos denominados cones, alguns de natureza deiscente, que devem ser colhidos maduros, antes da liberação natural das sementes. As espécies cultivadas no sul do Brasil, *P. taeda* e *P. elliottii*, iniciam a produção próximo aos 15 anos de idade, quando em povoamentos. A maturação e colheita de cones, nestas espécies é realizada em geral, de fevereiro a maio (FURB, 2008).

MONTEIRO (2005) menciona alguns autores, entre eles Bechara (2003), Richardson & Bond (1991) e Jankoski (1985). Relatam que treze meses após a polinização ocorre a fertilização de *Pinus*. Em geral, os cones ficam maduros durante a época de menor umidade. Os cones de *Pinus* permanecem nos ramos por duas estações de crescimento, até ficarem maduros. Os cones do último ano podem permanecer na árvore, mesmo após terem seu ciclo completado, junto aos cones novos que estão em sua primeira estação de crescimento. Em povoamentos naturais nos Estados Unidos, registrou-se, em média, 68 sementes/cone de *P. elliottii*. Para *P. taeda*, após um ano, ainda permanecem nos cones 4,1% das sementes, com taxa de germinação de 50%, sendo fundamental a retirada dos cones em ações de controle. Constatou-se maior viabilidade de sementes no pico de disseminação, com 80% de germinação, e menor viabilidade quanto mais tempo demorou a ocorrer à dispersão, sendo que seis meses depois, a germinação caiu para 55%.

No planalto norte de Santa Catarina, a formação dos cones, de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* leva 18 meses. A maturação do pólen e receptividade das flores (época de polinização) para *P.taeda* ocorre de julho a agosto. A coleta dos frutos é iniciada em março para *P.elliottii* e em meados de abril para *P.taeda*. As árvores iniciam a produção de frutos entre 5 a 6 anos de idade, sendo que a quantidade produzida

varia muito em função do tamanho da copa, material genético e clima (na época da polinização). Uma embalagem padrão de 40kg com volume de cone corresponde a um volume aproximado de 1,0kg de sementes para *P.elliottii* e de 1,3kg para *P.taeda* (KLECHOWICZ, 2008).

### Estratégias para Atingir Alto Rendimento

Decisões como espaçamento inicial, regimes de desbastes e de podas e a idade para o corte final, os objetivos finais da madeira podem ser para:

- produção de fibras ou biomassa, que requer toras de pequenas dimensões para indústrias de celulose e papel, chapas de partículas de madeira aglomerada, de fibras e similares;
- processamento mecânico, que requer toras de grandes dimensões, para processamento em serrarias e laminadoras (EMBRAPA, 2005).

As plantações devem ser estabelecidas, preferencialmente, em:

áreas com declividade inferior a 25° para se obter maior eficiência e menor custo nas operações de plantio, manutenção e corte;

- áreas próximas a estradas e ao mercado para reduzir os custos de transporte;
- solos de melhor qualidade para maximizar o retorno monetário (EMBRAPA, 2005).

A seguir, nas Figuras 2 e 3, três modelos de manejo florestal são exemplificados em função do objetivo final – madeiras para processo (“pulpwood”), madeiras de qualidade (“clearwood”) e produção resina-madeira (padrão), adaptados de Pisa & Paranaprint (1993) citados por KRONKA et al (2005).

Na produção de madeiras para processo o objetivo principal é a produção do máximo volume possível, sem preocupação com o diâmetro das árvores e com minimização das intervenções na floresta. Na produção de madeiras de qualidade o objetivo principal é a obtenção da maior quantidade possível de madeira limpa. As árvores são selecionadas tendo em vista o crescimento em diâmetro, a forma do fuste, reto e cilíndrico e ramagem delgada. Na produção resina-madeira o objetivo é obter alta produção de resina, boa produtividade de madeira e adequação ao meio ambiente do local de plantio. As árvores devem ter boa forma, galhada fina e saudável (KRONKA et al., 2005).

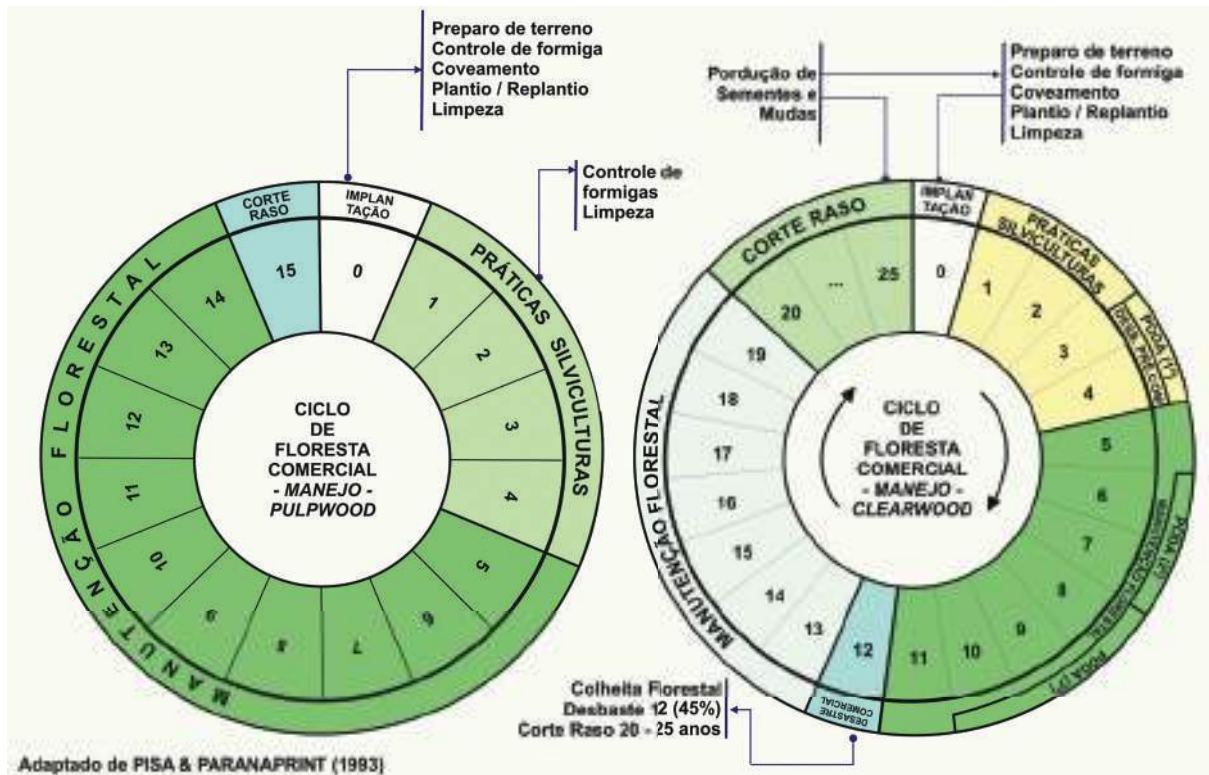


Figura 2. Práticas silviculturais para produção de madeiras para processo (pulpwood) e para madeiras de qualidade (clearwood) (Fonte: KRONKA et al., 2005).



Figura 3. Práticas silviculturais para produção de madeiras para resina-madeira. (Fonte: KRONKA et al., 2005)

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade hídrica

Um dos fatores que mais influenciam no crescimento do *Pinus* é a profundidade efetiva do solo. Mesmo sendo árvores que atingem grandes dimensões, poucas raízes são encontradas a mais de 60 cm de profundidade (EMBRAPA, 2006). Apesar do *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, serem considerados espécies de baixa exigência nutricional, é possível, numa mesma região, obter diferentes respostas do crescimento de acordo com a fertilidade do solo, no seu aspecto mais amplo (REMADE, 2008b).

Além do aspecto nutricional, a profundidade das raízes é determinante do volume de solo explorado e, conseqüentemente, do volume de água armazenado no solo.

*Pinus elliottii* apresenta moderada tolerância à deficiência hídrica e requer clima fresco com inverno frio e disponibilidade de umidade constante durante todo o ano. Pode crescer bem nas zonas de transição para os cerrados e nas florestas semidecíduais do Paraná e São Paulo, bem como nas áreas com lençol freático próximo à superfície (Remade (2002) e Embrapa (2006) citados por CASTRO, 2008).

CASTRO (2008) baseado em Golfari et al. (1978), menciona que a faixa de aptidão hídrica para *Pinus elliottii var elliottii* e *Pinus taeda* a deficiência hídrica anual deve ser <50mm.

Na região de ocorrência natural da espécie *P. elliottii*, há preferência por locais com precipitação entre 650 e 2.500mm, com período de seca de 2 a 4 meses (precipitação < 40mm) (LAMPRECHT, 1990; KRONKA et al., 2005).

Na região de ocorrência natural da espécie *P. taeda*, há a preferência por locais com precipitação entre 900 e 2.200mm, com período de seca de até 2 meses (MARCHIORI, 1996; EMBRAPA, 2005).

### 2.2 Temperatura

MORA et al. (1981) citando diversos autores menciona que a temperatura é um dos principais fatores que influencia a dispersão do pólen de ano para ano, onde o tempo para o início do desprendimento do pólen bem como a sua duração são funções da sua localização na copa da árvore. O início para a receptividade da flor bem como a sua duração também são influenciadas pela temperatura. Alta umidade impede a liberação do pólen conduzido pelo vento e, durante prolongados períodos chuvosos,

amentilhos superamadurecidos algumas vezes caem ainda cheios de pólen. A viabilidade do pólen é grandemente afetada sob condições de alta umidade relativa.

Frio e umidade pode causar fechamento dos cones quando eles poderiam ser polinizados (SCHMIDT, 2008).

*Pinus taeda* se desenvolve bem nas regiões de clima fresco e inverno frio, iniciando sua produção de madeira adulta entre 12 a 15 anos (Embrapa (2006) citado por CASTRO, 2008). Altas temperaturas e a ocorrência de déficit hídrico, em parte do ano, limitam o desenvolvimento de espécies como *Pinus taeda* (EMBRAPA, 2006).

CASTRO (2008) baseado em Carpanezzi et al. (1986), menciona que a faixa de aptidão térmica para *Pinus elliotii* var *elliotii* é de 15 a 24°C de temperatura média anual e para *Pinus taeda* de 13 a 19°C.

Na região de ocorrência natural da espécie *P. elliotii*, a temperatura média anual oscila entre 15 e 24°C, com temperatura mínima de 4°C e máxima de 32°C e com extremos ocasionais de 41°C e -18°C. É bastante resistente a geadas e amplamente tolerante a ventos com elevados teores de sal (LAMPRECHT, 1990; KRONKA et al., 2005).

Na região de ocorrência natural da espécie *P. taeda* as temperaturas médias anuais variam de 13°C a 24°C, podendo chegar à mínima extrema de -23°C, e com temperatura mínima de 4°C e máxima de 25°C. O período livre de geadas varia de cinco meses na parte norte até dez meses, na parte costeira sul. O período livre de geadas varia de cinco meses na parte norte e até dez meses na parte costeira sul (MARCHIORI, 1996; EMBRAPA, 2005).

### 2.3 Vento

Espécies polinizadas pelo vento dependem da direção e velocidade do mesmo. Velocidade do vento pode ser um fator limitante para polinização a longas distâncias, isto é, entre árvores distantes, mas é provavelmente insignificante nos pomares (SCHMIDT, 2008).

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

Diversos autores citados por MORA et al. (1981) relatam que chuvas pesadas, danificam por completo os amentilhos, e quando prolongada, podem impedir a liberação e locomoção do pólen. Da mesma forma foi observado que um período superior a 5 dias de chuvas pesadas, as quais ocorreram no auge do desprendimento do pólen de *P.taeda*, provocaram grandes perdas.

### 3.2 Geadas

Áreas subtropicais dos planaltos da região sul do Brasil são ambientes adequados para crescimento do *Pinus taeda*. Pode-se considerar que, no Brasil, a espécie é mais produtiva em regiões mais frias, onde a geada é freqüente nos invernos (REMADE, 2008a).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### Proposta de uma metodologia para zoneamento do Pinus

As metodologias utilizadas para realizar o zoneamento agrícola de uma região podem ser divididas em zoneamentos de aptidão e zoneamentos do risco climático.

Os zoneamentos de aptidão envolvem a análise do potencial do clima, dos solos e dos fatores sócio-econômicos locais e regionais. Nesta abordagem o potencial edafoclimático regional é confrontado com as necessidades médias da espécie, definindo-se a aptidão para cultivo, dividida geralmente nas classes apta, marginal e inapta.

Devido à escassez de dados e informações regionais e às dificuldades de processamento, os resultados dos primeiros trabalhos com esta metodologia espelhavam mapas de aptidão das culturas em larga escala, que eram indicativos aproximados para exploração de uma determinada espécie. Estes estudos foram extremamente úteis para nortear a expansão de cultivos em áreas de fronteira agrícola. Entretanto, quando tais informações eram utilizadas por agentes financeiros para decidir sobre a concessão de crédito aos produtores havia muitos conflitos, pois áreas aptas freqüentemente eram desconsideradas. Em alguns casos ocorriam perdas significativas, uma vez que os estudos de potencial não levava em consideração os riscos toleráveis de ocorrência de eventos desfavoráveis como secas e geadas.

O zoneamento do risco climático consiste em se analisar séries históricas de dados meteorológicos e identificar, para as condições de solos regionais, áreas adequadas para o plantio. As seguintes informações são fundamentais para se realizar o zoneamento do risco climático:

- Necessidades da espécie – O primeiro passo é verificar dentro do gênero *Pinus* se existe diversidade de adaptação entre as espécies exploradas comercialmente. Havendo diferenças, é necessário realizar o estudo por espécies. EMBRAPA (1986) e EMBRAPA (1988) apresentam as exigências climáticas das principais espécies de *Pinus* para os estados do Paraná e Santa Catarina. As seguintes informações normalmente são utilizadas:
- Temperatura basal, as temperaturas mínima e máxima toleradas e a faixa térmica ótima para vegetação e produção;
- Necessidades de água durante o ciclo, períodos críticos em caso de ocorrência de deficiência hídrica e sensibilidade ao excesso de chuvas;
- Variação do coeficiente de cultura durante o ciclo;
- Fenologia e necessidades de acúmulo térmico.
- Dados estatísticos de produção – As estatísticas municipais de produção são disponibilizadas pelo IBGE e órgãos estaduais. Consiste no primeiro passo para identificar os municípios que já possuem tradição no cultivo das espécies;
- Resultados de pesquisa sobre produtividade de genótipos plantados na região;
- Dados meteorológicos de toda a área em estudo – As variáveis essenciais são temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação. Entretanto, é desejável contar com dados de temperatura média compensada, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, os quais permitem análises mais detalhadas do clima;
- Cartas de solos e informações básicas de retenção de água no perfil ao nível de grandes grupos – As análises realizadas presentemente levam em conta a textura dos solos, dividindo-os em três classes de retenção de água, alta, média e baixa, para fins de cálculo do balanço hídrico.
- Altitude – Atualmente existem disponíveis bases com diferentes resoluções, desde aproximadamente 800m até 90m por pixel. Estes dados podem ser obtidos da Internet e utilizados em modelos de estimativa da temperatura do ar.

Pode-se utilizar séries históricas de temperatura mínima do ar para estimar a probabilidade de ocorrerem geadas em um determinado local. Como a temperatura mantém estreita correlação com a altitude e a latitude, é possível também mapear com maior detalhamento a variação regional de temperaturas críticas.

A vantagem em se utilizar o valor estimado é que se obtém uma temperatura para cada ponto em que houver um valor conhecido de altitude e latitude, permitindo maior detalhamento no mapeamento. Além das temperaturas, podem-se também estimar as probabilidades de ocorrência de geadas, correlacionando os valores de cada estação com altitude e latitude e obtendo-se uma equação de estimativa em função desses parâmetros. Esta metodologia foi empregada por CARAMORI et al. (2001) para mapear o risco de geadas para a cultura do café no Paraná. A probabilidade de geadas para cada estação foi ajustada à distribuição de extremos e as probabilidades de ocorrerem geadas com temperaturas mínimas inferiores a 0°C no abrigo foram estimadas em função de altitude e latitude, gerando-se um mapa de risco detalhado que permitiu realizar o zoneamento do café.

Deve-se considerar que, por melhores recursos que se disponha atualmente, ainda existe uma grande carência de informações em diversas regiões do Brasil. Mesmo nas áreas que dispõem de uma grande densidade de dados, muitas vezes as condições regionais do clima variam, fato que pode causar erros na interpretação de resultados. Assim, todo zoneamento agroclimático deve ser revisado periodicamente, a fim de se corrigir possíveis imprecisões. Técnicos e especialistas com experiência na cultura são uma importante fonte de informação. Especialmente ao se considerar as diferenças regionais. Uma vez definido que o trabalho está correto, publica-se os resultados, transfere-se aos órgãos governamentais para adoção de políticas de fomento e difunde-se aos técnicos e produtores.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da Abraf**: ano base 2006. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 5 jun. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pesquisa Agropecuária. Balança Comercial do Agronegócio – 2007. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 5 jun. 2008.

CARAMORI, P. H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 486-494, 2001.

CASTRO, F. da S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do Pinus no estado do Espírito Santo**. 101 f. 2008. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)- Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. (Irrigation and drainage paper, 33).

EMBRAPA. **Cultivo do Pinus**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/index.htm>>. Acesso em: 3 jun. 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Florestal. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 113 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Florestal. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, DF: EMBRAPA/DDT, 1986. 89 p.

FARIA, R. T.; MADRAMOOTOO, C. A. Simulation of soil moisture profiles for wheat in Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 31, n. 1-2, p. 35-49, 1996.

FURB. **Colheita de sementes**. Disponível em: <<http://home.furb.br/lischorn/silvi/1/FORMA%C7%C3O%20DA%20SEMENTE.doc>>. Acesso em: 6 jun. 2008

GRODZKI, L. et al. Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.

KLECHOWICZ, N. A. **Pinus**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <leocadio@iapar.br> em 4 jul. 2008.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: GTZ, 1990. 343p.

MAHMOUD, A. G. E. et al. **Invasão de Pinus elliottii em um fragmento de cerrado em Itirapina – SP**. Disponível em: <<http://www.ib.unicamp.br/profs/fsantos/relatorios/bt791r2a2003.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2008.

MALUF, J. R. T. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 468-476, 2001.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: UFSM, 1996. 158 p.

MARTO, G. B. T. **Indicações para escolha de espécies de Pinus**. Disponível em: <[http://www.ipef.br/silvicultura/escolha\\_pinus.asp](http://www.ipef.br/silvicultura/escolha_pinus.asp)>. Acesso em: 30 jun. 2008.

MONTEIRO, T. N. **Aspectos de problemas relacionados à contaminação biológica por Pinus no Parque Estadual da Serra do Tabuleiro**. Florianópolis: UFSC, 2005. 76 p. Relatório de estágio.

MORA, A. L. et al. **Aspectos da produção de sementes de espécies florestais**. Piracicaba: IPEF, 1981. (IPEF. Técnica, v.2, n.6).

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite e Matter. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PINUSLETTER. **Espécies de Pinus úteis ao Brasil: Pinus taeda**. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/pinus\\_03.html](http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_03.html)>. Acesso em: 5 jun. 2008a.

PINUSLETTER. **Os Pinus no Brasil: Pinus elliottii**. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/pinus\\_04.html](http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_04.html)>. Acesso em: 5 jun. 2008b.

REMADE. **Pinus: uma alternativa de mercado**. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 68, dez. 2002. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/pt/revista\\_materia.php?edicao=68&id=249](http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=68&id=249)>. Acesso em: 21 ago. 2008a.

ROCHA, D. **Área plantada no Brasil pode crescer 50% em 15 anos**. Disponível em: <<http://www.ambienteemfoco.com.br/?p=481>>. Acesso em: 2 jun. 2008.

SCHMIDT, L. Seed biology, development and ecology. In: SCHMIDT, L. **Guide to handling of tropical and subtropical forest seed**, Danida Forest Seed Centre, 2000. Disponível em: <[http://en.sl.life.ku.dk/upload/chapter2\\_001.pdf](http://en.sl.life.ku.dk/upload/chapter2_001.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2008.

SENTELHAS, P. C.; ORTOLANI, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Diferença de temperatura entre o abrigo meteorológico e a relva, em noites de geada, no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande, PB. **Resumos...** Campina Grande: SBA, 1995. p. 275-277.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institut of Technology, 1955. 104 p. (Drexel Institute of Technology. Publications in climatology, v.8, n.1).

A close-up photograph of sisal fibers, showing a dense, tangled network of thin, light-brown strands. The fibers have a natural, fibrous texture and are illuminated from the side, creating highlights and shadows that emphasize their individual strands. A semi-transparent olive-green rectangular box is positioned in the upper left quadrant, containing the word "SISAL" in white, bold, uppercase letters.

**SISAL**





## 1. INTRODUÇÃO

O sisal foi introduzido na Bahia em 1903. Nos anos seguintes, as primeiras mudas foram disseminadas para outros Estados do Nordeste. A cultura se expandiu em função do interesse e da procura pela fibra durante a Segunda Guerra Mundial. No Estado da Bahia, houve várias ações de estímulo à cultura. Logo após a Segunda Guerra Mundial, o sisal teve rápida expansão, devido à alta demanda dos mercados interno e externo. Em 1946, o Brasil se tornaria exportador desta fibra (SILVA e BELTRÃO, 1999).



Figura 1. Plantas de sisal com 32 meses de desenvolvimento (Lavoura de agricultor, no Município de Pocinhos, PB, região do Cariri Paraibano). Foto: Odilon Reny Ribeiro Ferreira da Silva

### Importância econômica e Social

O sisal é a principal fibra dura produzida no mundo, correspondendo, aproximadamente, por 70% da produção comercial de todas as fibras deste tipo. O Brasil é o maior produtor e maior exportador mundial, com 58% da produção e 70% das exportações. O cultivo do sisal concentra-se na região Nordeste e tem como seus principais produtores os Estados da Bahia (50 Municípios), da Paraíba (34 Municípios) e do Rio Grande do Norte (5 Municípios), com 93,5%, 3,5% e 3,0% da produção nacional, respectivamente (SANTOS, 2006).

A cultura do sisal é de fundamental importância na economia nordestina, tornando produtivas regiões semi-áridas marginais, que apresentam escassas alternativas econômicas e baixo Índice de

---

1- Eng. Agrícola, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Algodão, Rua Osvaldo Cruz, 1143, Campina Grande – PB, C.P. 174, CEP 58107-720. E-mail: odilon@cnpa.embrapa.br  
2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Algodão. E-mail: napoleao@cnpa.embrapa.br  
3- Analista, EMBRAPA – Algodão. E-mail: cartaxo@cnpa.embrapa.br  
4- Ex-pesquisador, EMBRAPA – Algodão

Desenvolvimento Humano (IDH). Nessa região, a base de exploração da cultura é, predominantemente, o trabalho familiar (SILVA e BELTRÃO, 1999).

A exportação gera, anualmente, divisas na ordem de 80 milhões de dólares, além de criar, aproximadamente, 850 mil empregos diretos e indiretos, por meio de uma cadeia de serviços, que começa com as atividades de manutenção das lavouras, colheita, desfibramento e beneficiamento da fibra, e termina com a industrialização e a confecção de artesanatos (SANTOS, 2006). Contudo, o comércio da fibra do sisal sofreu forte retração na demanda, nos últimos 30 anos, devido à competição com materiais sintéticos plásticos. Conseqüentemente, o mercado mundial do sisal vem se retraindo de forma significativa. Na década de 70, o consumo mundial de fibra era de 750 mil toneladas/ano; em 2004, foi reduzido a um terço disso (BRIAN e WERFF, 2006).

No Brasil, a cultura é explorada com baixo índice de modernização, observando-se redução na área plantada e na produção. Entre os principais fatores responsáveis por este declínio estão os seguintes: baixo valor pago pela fibra; reduzido índice de aproveitamento da planta de sisal (somente 3 a 5% das folhas colhidas se convertem em produto comercial); concorrência com as fibras duras sintéticas; elevado custo inicial para a implantação e manutenção da lavoura, até o início da produção; falta de variedades mais produtivas e adaptadas às regiões produtoras; não aproveitamento dos resíduos do desfibramento; manejo deficitário da fertilidade dos solos; falta de máquinas modernas para o beneficiamento; e, nos últimos anos, a podridão do tronco, doença causada por fungos de solo que têm ameaçado, ainda mais, a sustentabilidade da cultura (SILVA e BELTRÃO, 1999).

### Origem, botânica e morfologia

O centro natural de dispersão do gênero *Agave* acha-se representado pela área compreendida entre o sudoeste dos Estados Unidos, o México, a América Central e as Antilhas, estendendo-se até o norte da América do Sul (MEDINA, 1954).

O sisal pertence à classe Monocotiledônea, série Liliiflôrea, família Agavaceae, subfamília Agavoidea, gênero *Agave*, espécie *A. sisalana*. O gênero acha-se subdividido em dois subgêneros, distintos segundo as características do escapo floral, que são o *Littaea*, com 80 espécies reunidas em sete seções, segundo Berger (1915) e, o *Euagave*, com 170 espécies agrupadas em 18 seções (MEDINA, 1954).

Duas espécies se destacam no gênero, por sua importância comercial, isto é, a *A. sisalana* e a *A. fourcroydes*. A partir destas duas espécies, origina-se a maior parte das fibras duras produzidas no mundo. O sisal cultivado no Nordeste pertence à primeira das espécies aqui citadas.

O sisal possui sistema radicular fibroso e em forma de tufo, sem uma raiz principal. As raízes brotam, adventiciamente, da base da escara da folha e da superfície inferior do tronco, sendo de dois tipos, designadas transportadoras e alimentadoras. As primeiras são longas e bem ramificadas, estendendo-se, radialmente, da base da planta para as camadas mais profundas do solo. As raízes alimentadoras acham-se inseridas sobre as transportadoras, sendo mais finas, com a função de absorver água e nutrientes na solução do solo.

A planta não tem caule, isto é, é acaulescente, mas, em seu lugar, há um tronco ou eixo principal, sobre o qual se acham inseridas as folhas e o broto terminal. Em uma planta madura, com dois anos de idade, o tronco pode atingir 120cm de comprimento e, o diâmetro, no máximo 20cm. No sisal, o tronco, além de servir de suporte para as folhas, pode funcionar, ainda, como órgão de armazenamento.

A folha de sisal é lanceolada linear e destituída de pecíolo (sésil), com 90 a 120 cm de comprimento, em média. A epiderme da folha é bem desenvolvida e apresenta cutícula cerosa, que repele a água com facilidade. No parênquima foliar, acham-se embebidas as fibras que, no sisal, são de dois tipos, as mecânicas e aquelas em formato de tira ou fita. As primeiras são chamadas mecânicas porque são responsáveis pelo reforço e rigidez da folha.

A inflorescência é uma grande panícula de formato variável, que engloba os tipos oblongo, oblongo piramidal ou piramidal alongado. Na panícula, são encontrados, normalmente, de 25 a 40 ramos principais, com um número de 40 flores em cada cacho.

## 1.1 Fenologia

O ciclo fenológico do sisal pode ser subdividido em 5 fases principais, como descrito na Tabela 1 e ilustrado na Figura 2.

**Tabela 1. Descrição das principais características relativas às fases de desenvolvimento da planta de Sisal.**

Fase de desenvolvimento	
Fase 0	Plantio e estabelecimento da muda.
Fase 1, 2 e 3	Desenvolvimento inicial da planta, desde o “pegamento” até a fase de início da colheita. Geralmente ocorre no período de 3 a 4 anos, dependendo das condições edafoclimáticas da região.
Fase 3	Quando a planta alcança a maturidade, estando apta ao primeiro corte das folhas. Nesta fase, o tronco deverá estar bem desenvolvido, com folhas de tamanho superior a 1m.
Fase 4	Produção plena. O ciclo produtivo de folhas da planta poderá se manter por período de 8 a 10 anos. Em condições normais de chuva, a colheita é realizada uma vez ao ano, com um intervalo de 12 meses para o desenvolvimento das folhas.
Fase 5	Tem início a senescência da planta, com a emissão do escapo floral (pendão), com sua respectiva inflorescência. Nesta fase, a produtividade é reduzida pelo menor número de folhas e pela redução de tamanho.

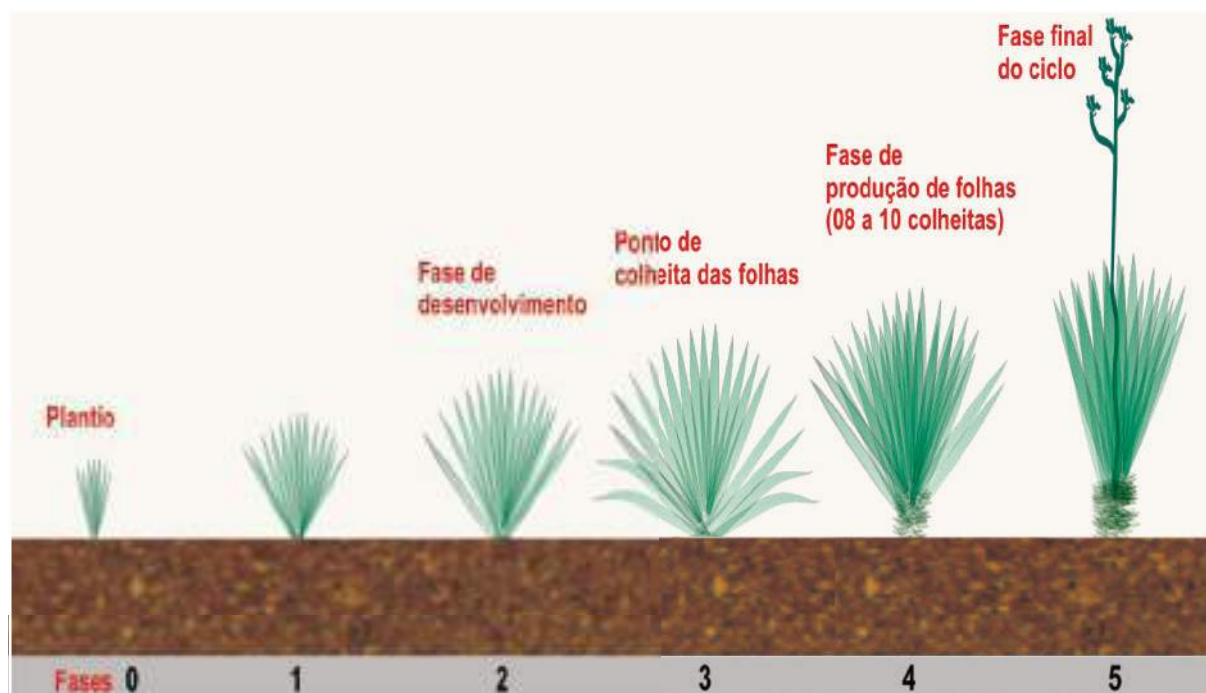


Figura 2. Ciclo de desenvolvimento e produção do sisal. Fonte: Adaptado do livro “O agronegócio do Sisal no Brasil” Embrapa-CNPA, 1999.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

O sisal, em especial a espécie cultivada no Brasil (*Agave sisalana* Perrine), é uma planta com certo nível de xerofilismo (Coutinho, 1965; Ferri, 1963), possuindo grande capacidade de adaptação às regiões semi-áridas e, mesmo, áridas, como ocorre no Nordeste. Pode-se afirmar que o sisal é um

vegetal eminentemente tropical e, por isso, existem tão poucos plantios comerciais fora deste ambiente.

Esta Agavaceae tem preferência por regiões com temperatura média entre 20 e 28 °C, com pequenas variações, prosperando bem em locais onde as precipitações pluviiais anuais variam entre 600 a 1500mm, segundo Ribeiro Filho (1967). Produções satisfatórias também são encontradas em locais com precipitações pluviiais anuais bem mais baixas, menos de 400 mm, com concentração, acima de 70%, em três meses do ano, graças, exclusivamente, à capacidade da planta de absorver, pelas folhas, a água proveniente do orvalho. Este mecanismo, além de fornecer água para uso direto da planta, retarda o aumento da temperatura foliar na manhã seguinte, reduzindo a evapotranspiração (CHANG, 1977). Ainda assim, a maior quantidade de água é normalmente absorvida pelas raízes.

O sisal, assim como outras plantas, como o abacaxi (*Ananas comosus* L.) e algumas espécies de cactáceas, tem metabolismo fotossintético do tipo CAM (Crassulacean Acid Metabolism), ou seja, Metabolismo Ácido Crassuláceo, que é adaptado às condições de baixa disponibilidade hídrica, por manter estômatos fechados durante o dia e, abertos, somente durante as condições mais amenas da noite, quando absorve e armazena CO<sub>2</sub> para ser metabolizado com a luz do dia seguinte. Outra característica da adaptação desta Agavaceae ao clima seco são os estômatos em criptas ou cavidades, que aumentam, significativamente, a resistência ao fluxo de vapor de água no processo de transpiração. A resistência, devido às criptas, varia em função de sua profundidade e de seus diâmetros, o que dificulta a saída do vapor de água e interfere na entrada do CO<sub>2</sub> para o interior da folha. Além disso, a cutícula espessa e cerosa apresenta elevada resistência à transpiração, dificultando a perda de água através desta camada. O sisal é, assim, bastante eficiente em economia de água, mantendo, porém, o balanço de CO<sub>2</sub> positivo.

À semelhança de outras plantas que apresentam metabolismo fotossintético CAM, o sisal tem baixa taxa de absorção de CO<sub>2</sub>, variando de 3,0 a 20,0 mg/dm<sup>2</sup>/h, contra 50,0 a 80,0 mg/dm<sup>2</sup>/h, em plantas de metabolismo fotossintético C<sub>4</sub> (LARCHER, 1975).

## 2.1 Disponibilidade Hídrica

As raízes do sisal são longas, bem ramificadas e se estendem, radialmente, da base da planta para as camadas mais profundas do solo. Solos de textura mais arenosa permitem um desenvolvimento vigoroso do sistema radicular, tanto lateralmente quanto em profundidade. Na região dos Cariris Paraibanos, um raizame completo de sisal foi retirado de um solo franco-arenoso. A superfície escavada teve, aproximadamente, três metros de diâmetro e mais de 1 m de profundidade.

O sisal, como planta semi-xerófila, apresenta estruturas peculiares de defesa contra a aridez, com folhas carnosas (suculentas), número reduzido de estômatos e epiderme fortemente cutinizada (MEDINA, 1959). Adapta-se bem às regiões tropicais e subtropicais, suportando secas prolongadas e elevadas temperaturas (MARQUES, 1978). Adequa-se ao clima tropical semi-árido e às regiões de clima quente, com grande luminosidade, onde não ocorra excesso de chuvas (Andrade, 1969).

Longas estiagens, ou precipitação anual inferior a 400mm, prejudicam acentuadamente a planta, não só no crescimento e no desenvolvimento, mas, também, no rendimento e na qualidade da fibra. Nos períodos de seca prolongada, as folhas perdem a turgescência e pendem, recuperando-se e voltando à posição normal, após novas chuvas, podendo, após alguns dias, ser submetidas ao corte, para beneficiamento.

O sisal também se desenvolve, adequadamente, em regiões mais chuvosas, com média de precipitação anual superior a 1.000mm (Graner & Godoy Júnior, 1967), como em Java, cuja precipitação é da ordem de 2.500mm (PRATA, 1983). Nestes casos, porém, a produção pode ser reduzida devido à competição com as ervas daninhas (ACLAND, 1971).

A precipitação pluvial bem distribuída, com umidade do ar moderada e curta estação seca, favorece o crescimento contínuo das folhas, permitindo colheitas freqüentes, com alta qualidade de fibra (LUTZENBERGER, 1974).

Apesar da inexistência de estudos específicos quantificando o efeito das condições meteorológicas sobre o crescimento e desenvolvimento de *A. sisalana*, podem-se inferir algumas informações, sobre a planta, a partir de informações climatológicas das principais regiões produtoras.

As regiões produtoras de sisal, no Nordeste brasileiro, caracterizam-se por apresentar altitude (ALT)

entre 209 e 1012m, precipitação pluvial (P) entre 335,8 e 863,1mm, concentrada entre 3 e 6 meses do ano, assumindo-se que o período chuvoso inicia-se e encerra-se quando a precipitação pluvial mensal equivale a, pelo menos, 10% do total anual. A percentagem da precipitação, na época chuvosa (PPC), varia entre 42,8% e 90,2% do total anual de precipitação, com a maioria dos Municípios apresentando ocorrência de orvalho, devido ao efeito da altitude (Tabela 2),

**Tabela 2. Precipitação, altitude e percentagem da precipitação pluvial anual ocorrida no período chuvoso, para alguns Municípios produtores de sisal, do Nordeste brasileiro.**

Município	ALT (m)	P (mm)	PPC (%)
Picuí	450	339,1	77,1
Olivedos	545	471	76,6
Pocinhos	624	382,3	73,2
Teixeira	770	714,6	90,2
Monteiro	590	620,4	67,3
Soledade	560	391,2	70,5
Araci	212	668,3	61,5
Queimadas	273	537,4	69
Valente	350	503,7	67,4
Tucano	209	574,8	60,1
Jacobina	460	863,1	56,1
Uauá	439	486,1	80,4
Barra de Stª Rosa	440	369,7	75,6
Pedra Lavrada	525	359,4	70
C. Formoso (S. Tomé)	550	335,8	85,8
Senhor do Bonfim	544	842,7	53,5
S. do Bonfim (Sohen)	460	714,8	59,4
Morro do Chapéu	1012	741,1	62,3
M. Chapéu (Ventura)	800	739,6	55,8
Riachão do Jacuípe	217	557	55,1
Queimadas (Monteiro)	280	501,4	42,8
C. do Coité (Salgadália)	350	576,7	55,2
Jacobina (Rio Peixe)	370	575,9	61,8

Fonte: "O agronegócio do Sisal no Brasil" Embrapa-CNPA, 1999.

Considerando a profundidade das raízes da planta e as características do solo, predominam, nessas áreas, solos com capacidade máxima de armazenamento hídrico entre 50 e 125 mm.

De acordo com os resultados do Balanço Hídrico Climatológico dessas regiões, o total anual da evapotranspiração (ET<sub>o</sub>) excede a precipitação (P), com poucos meses em que o inverso ocorre. Nos meses de maior precipitação, o déficit hídrico (DEF) pode chegar a zero, mas geralmente isso não ocorre mais do que três meses ao ano (Tabela 3).

**Tabela 3. Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955), para alguns Municípios produtores de sisal, do Nordeste brasileiro (CAD de 50 e 100 mm).**

Município	Mês	P	ETo	ARM	ETR	EXC	DEF
Monteiro, PB Alt 603 m, ARM = 50 mm	Janeiro	42	113	0	42	0	71
	Fevereiro	83	93	0	83	0	10
	Março	139	115	24	115	0	0
	Abril	120	97	47	97	0	0
	Maio	75	89	37	86	0	3
	Junho	49	74	23	63	0	11
	Julho	32	74	10	45	0	29
	Agosto	14	82	2	22	0	60
	Setembro	7	91	0	9	0	82
	Outubro	12	115	0	12	0	103
	Novembro	14	122	0	14	0	108
	Dezembro	23	130	0	23	0	107
	Ano	609	1195	-	611	0	584
Jacobina, BA Alt 484 m, ARM = 100 mm	Janeiro	99	127	0	99	0	28
	Fevereiro	82	118	0	82	0	36
	Março	120	130	0	120	0	10
	Abril	91	109	0	91	0	18
	Maio	48	93	0	48	0	45
	Junho	53	76	0	53	0	23
	Julho	41	69	0	41	0	28
	Agosto	40	76	0	40	0	36
	Setembro	31	90	0	31	0	59
	Outubro	32	116	0	32	0	84
	Novembro	86	123	0	86	0	37
	Dezembro	116	123	0	116	0	7
	Ano	839	1249	-	839	0	410
Morro do Chapéu, BA Alt 1003 ARM = 50 mm	Janeiro	93	91	50	91	2	0
	Fevereiro	86	82	50	82	4	0
	Março	93	87	50	87	6	0
	Abril	68	78	41	77	0	1
	Maio	33	69	20	54	0	15
	Junho	39	56	14	45	0	11
	Julho	27	54	8	33	0	21
	Agosto	21	57	4	25	0	32
	Setembro	19	67	2	21	0	46
	Outubro	43	81	1	44	0	37
	Novembro	88	84	5	84	0	0
	Dezembro	139	90	50	90	3	0
	Ano	749	896	-	733	0	163
Senhor do Bonfim, BA Alt 558 ARM = 100 mm	Janeiro	102	124	0	102	0	22
	Fevereiro	118	106	12	106	0	0
	Março	109	116	11	111	0	5
	Abril	96	98	11	96	0	2
	Maio	64	92	8	67	0	25
	Junho	64	72	8	64	0	8
	Julho	54	67	7	55	0	12
	Agosto	34	76	4	37	0	39
	Setembro	34	86	3	35	0	51
	Outubro	39	111	1	41	0	70
	Novembro	54	122	1	54	0	68
	Dezembro	83	129	0	84	0	45
	Ano	851	1199	-	852	0	347

Fonte: "O agronegócio do Sisal no Brasil" Embrapa-CNPq, 1999. 205p

## 2.2 Temperatura

O clima ideal para o crescimento e o desenvolvimento do sisal é o quente, em que a temperatura média anual esteja entre 20 e 28°C, com grande intensidade de luz. Desenvolve-se, também, em climas temperados, sem excesso de chuvas.

No Nordeste brasileiro, o sisal se desenvolve bem na região semi-árida, com temperatura média diária superior a 24 °C (ANDRADE, 1969) e altitude de, até, 600m. Contudo, as características climáticas de alguns Municípios produtores desta fibrosa, como descritas na Tabela 4, permitem constatar que a cultura é explorada, comercialmente, em regiões cujas temperaturas média (T<sub>méd</sub>), máxima (T<sub>máx</sub>) e mínima (T<sub>mín</sub>) anuais do ar variam, respectivamente, entre 19,7 e 23,5°C; 25,1 e 30,4°C; 15,9 e 19,4°C, amplitude térmica entre 9,2 e 12,1°C, umidade relativa (UR) média anual entre 66 e 78,5% e, insolação (n), entre 1995,6 e 2657,4 horas.

**Tabela 4. Dados climatológicos de alguns Municípios produtores de sisal, do Nordeste brasileiro.**

Município	Mês	T <sub>méd</sub> (°C)	T <sub>máx</sub> (°C)	T <sub>mín</sub> (°C)	P (mm)	UR (%)	n (h)
Monteiro, PB Alt 603 m	Janeiro	24,2	33,3	19,6	42	66	239
	Fevereiro	23,5	31,3	19,6	83	68	225
	Março	24,6	30,4	20	139	73	215
	Abril	23,6	29,5	20,2	120	78	194
	Maio	22,7	28,6	20,5	75	77	196
	Junho	21,6	27,6	16,5	49	77	185
	Julho	21,3	27,8	15,6	32	75	193
	Agosto	22	29,1	15,3	14	68	241
	Setembro	23	30,4	15,8	7	66	248
	Outubro	24,5	32,1	18,2	12	61	253
	Novembro	25,2	32,7	19,1	14	60	213
	Dezembro	25,4	32,4	19,6	23	60	254
	Ano	23,4	30,4	18,3	620	69	2657
Jacobina, BA Alt 484 m	Janeiro	25,4	31,3	20,2	99	70	202
	Fevereiro	25,5	31,7	20,2	82	71	183
	Março	25,6	31,4	20,3	120	72	203
	Abril	24,6	30	19,9	91	75	175
	Maio	23,3	28,4	18,8	48	77	172
	Junho	22,1	26,7	23,2	54	78	154
	Julho	21,2	26,2	16,8	41	76	167
	Agosto	21,8	27,4	17	40	72	195
	Setembro	23,2	29,4	17,7	31	68	193
	Outubro	24,7	31,1	18,8	32	65	202
	Novembro	25,1	31,2	20	54	60	199
	Dezembro	25,2	31,1	20,1	83	60	209
	Ano	23,5	28,9	19,3	851	66	2112
Senhor do Bonfim, BA Alt 558	Janeiro	24,9	30,7	20,4	102	66	189
	Fevereiro	24,6	30,1	20,5	118	70	167
	Março	24,7	30,4	20,5	109	66	192
	Abril	23,7	28,7	20,2	96	71	167
	Maio	23,1	27,5	19,3	64	70	161
	Junho	21,5	25,7	18,2	64	73	129
	Julho	20,7	25,4	17,4	54	71	153
	Agosto	21,5	26,8	17,4	34	66	177
	Setembro	22,6	28,5	18,1	34	61	174
	Outubro	24,2	30,3	19,1	39	58	195
	Novembro	88	84	5	84	0	0
	Dezembro	139	90	50	90	3	0
	Ano	749	896	-	733	0	163



Município	Mês	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	P (mm)	UR (%)	n (h)
Morro do Chapéu, BA Alt 1003 m	Janeiro	21,1	26,6	17	93	76,3	180
	Fevereiro	21,2	26,6	17,1	86	75,4	153
	Março	21	26,6	17,4	93	78,2	173
	Abril	20,6	25,5	17,2	68	81	158
	Maio	19,2	24	15,9	33	83,6	158
	Junho	17,8	22,5	14,6	39	85,1	144
	Julho	17,2	22,1	13,8	27	84,1	155
	Agosto	17,5	23,1	13,8	21	79,4	188
	Setembro	18,9	24,9	14,7	19	75,4	174
	Outubro	20,2	26,3	15,9	43	73,4	172
	Novembro	20,7	26,6	16,6	88	73,9	161
	Dezembro	20,9	26,1	16,9	139	75,9	182
Ano	19,7	25,1	15,9	749	78,5	1996	

Fonte: "O agronegócio do Sisal no Brasil" Embrapa-CNPA, 1999.

### 2.3 Radiação solar

O sisal, por ter metabolismo CAM (ácido crassuláceo), não se satura com a radiação solar máxima ou com densidade do fluxo radiante elevada, aproximadamente 70 % da constante solar (ROSENBERG, 1974), suportando elevadas temperaturas do ambiente, com saldo fotossintético. De acordo com Larcher (2000), as plantas de metabolismo ácido crassuláceo apresentam taxas de crescimento lentas, bem menores que as plantas de metabolismo C3 e C4, porém, resistem bem aos estresses ambientais da seca e de temperaturas supra-ótimas, para o processo da assimilação clorofiliana.

### 2.4 Fotoperíodo

O sisal é uma espécie muito pouco estudada no tocante ao fotoperíodo, à sensibilidade a luz e à duração do dia, sendo considerada indiferente aos dias curtos, pois, no Nordeste brasileiro, onde está seu ótimo ecológico, os dias são curtos, abaixo de 12 horas de luz, sendo uma planta quase sem resposta fotoperiódica. Além disso, a parte econômica da planta vem das folhas, partes vegetativas, não dependendo, assim, do fotoperiodismo, que promove o início da indução floral, com a produção do florígeno ou hormônio da floração, sendo o fitocromo, a proteína localizada na membrana celular das células da folha, o cromóforo envolvido.

### 2.5 Vento

O sisal, como planta semi-xerófila, apresenta estruturas peculiares de defesa contra as condições de aridez, com folhas carnosas (suculentas), número reduzido de estômatos e epiderme fortemente cutinizada (MEDINA, 1959). Devido a estas características, o vento é um elemento climático que pouco interfere no desenvolvimento e crescimento das plantas de sisal.

Não há relatos na literatura sobre a ocorrência de desordens fisiológicas ou qualquer outro tipo de estresse provocado pelo vento, mesmo porque, o sisal é considerado uma planta de porte baixo, variando de 1,4 a 1,8m de altura, sendo pouco provável que a ação do vento exerça influência significativa sobre o comportamento fisiológico das plantas.

## 3. EVENTOS ADVERSOS

### 3.1 Granizo e chuva intensa

As características típicas de plantas suculentas, como folhas lanceoladas espessas e semi-rígidas, porte relativamente baixo e consistência lenhosa do tronco, fazem da *A. sisalana* uma

espécie bastante resistente aos danos mecânicos em geral, inclusive os provocados por granizo e chuva muito intensa. As informações a esse respeito são escassas, visto que as regiões de cultivo desta cultura se concentram no Nordeste do Brasil, onde a ocorrência de chuva muito intensa e de granizo é um evento raro.

### 3.2 Seca e Veranico

Em períodos de longa estiagem, a agave sisalana é acometida pelo processo da murcha da saia, ou queda da saia (Figura 3), que consiste na desidratação dos tecidos, provocada pelo desequilíbrio entre a transpiração das folhas e a absorção radicular. O efeito desta anomalia climática se manifesta, inicialmente, por um murchamento das folhas inferiores, isto é, da saia, começando pelas mais próximas do solo, em virtude da diminuição de turgescência das células, chegando às folhas próximas à vela. Nesta condição, torna-se inviável a colheita da folha, pouco desfibrada (SILVA e BELTRÃO, 1999). No entanto, após um período de chuvas e recuperação da disponibilidade hídrica do solo, as folhas recobram a turgescência e podem novamente ser colhidas e processadas.



Figura 3. Plantas de sisal sob stresse hídrico, fenômeno denominado “queda da saia”. Foto: O.R.R.F.da SILVA

### 3.3 Vento intenso

O efeito danoso do vento geralmente ocorre apenas em mudas recém plantadas, ainda pouco enraizadas. Nesta fase, o vento pode causar o tombamento das plantas, necessitando acompanhamento contínuo para evitar falhas de plantio e estandes inadequados.

Nas demais fases de desenvolvimento da cultura, é muito improvável a ocorrência de algum tipo de dano mecânico causado por vento intenso, tendo em vista as características evidentes desta espécie. As características típicas de plantas suculentas, folhas lanceoladas espessas e semi-rígidas, porte relativamente baixo e a consistência lenhosa do tronco, fazem da *A. sisalana* uma espécie bastante resistente à incidência de ventos fortes.

### 3.4 Geada

Como os plantios comerciais de sisal se concentram na região Nordeste do país, não há registros dos efeitos deste fenômeno sobre as plantas de sisal. Na realidade, não há estudos suficientes sobre tal fenômeno naquela região.

### 3.5 Chuva excessiva e excesso hídrico prolongado

Dado que esta cultura tem sido tradicionalmente cultivada em regiões pouco chuvosas e semi-áridas, sabe-se que o sisal não tolera solos encharcados e mal drenados, devido ao desenvolvimento de seu sistema radicular, que é bastante vigoroso, o que ocorre, preferencialmente, em solos “leves” ou arenosos.

Segundo Medina (1959), o excesso de chuvas interfere nos trabalhos de colheita e transporte das folhas, além de dificultar a secagem da fibra, afetando sua qualidade. Além disso, o autor menciona que não é aconselhável a exploração da lavoura próximo à orla marítima, evitando-se a elevada umidade do ar, em razão desta planta apresentar melhor desempenho em clima seco e de escassas precipitações pluviais.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sisal continua sendo uma das poucas opções econômicas para muitas regiões onde é cultivado. Dificilmente, nas mesmas condições, uma outra cultura seria mais viável, economicamente. Por esta razão, é imprescindível garantir sua continuidade, com a realização de estudos capazes de estimular a expansão da cultura e de promover o progresso tecnológico. O Governo Federal, através de Instituições de Pesquisa e Fomento, tem promovido ações para desenvolver a cadeia produtiva do sisal, com ênfase na economia solidária, com sustentabilidade econômica, social, ambiental e cultural, para um público-alvo de agricultores de base familiar e suas organizações (SILVA e BELTRÃO, 1999).

O cenário atual para o sisal do Brasil é bastante promissor em função do crescente aumento dos preços do petróleo e seus derivados, que concorrem diretamente com este tipo de fibra. É importante frisar, ainda, que se trata de um produto orgânico, isento de agrotóxicos, que origina produtos naturais, ecologicamente corretos, como tapetes, carpetes e artesanatos. Além destes produtos, têm surgido novas alternativas de uso da fibra, tais como os geotêxteis, os termoplásticos empregados na indústria automobilística, a fabricação de móveis e a construção civil. A própria mucilagem da folha, subproduto originado da extração da fibra, é utilizada como volumoso para alimentação animal. Todas estas alternativas reforçam a importância da cultura do sisal e de sua permanência como gerador de emprego e renda (BRIAN e WERFF, 2006; SILVA et al., 2006).

## 5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ACLAND, J. D. **East African crops**. London: FAO, 1971. 252 p.

ANDRADE, M. C. de. A cultura do sisal. In: SUDENE. **Agricultura e regionalização no nordeste: culturas industriais**. Recife: SUDENE, 1969. v. 1, p. 1-13.

ARNON, I. Physiological principals of dryland crop production. In: GUPTA, U.S. (Ed.). **Physiological aspects of dryland forming**. 6. ed. New Delhi: Oxford & IBH, 1984. 143 p.

BERGER, A. **Die agav beitrage**. Temia: Verlag von Gustay Fischer, 1915. 2 v.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. **Levantamento exploratório: reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972. 683 p. (Boletim técnico, 15); (SUDENE. série pedologia, 8).

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, DF, 1992. 84 p.

BRIAN, M.; WERFF, S. Van der. Visão mundial. In: ANDRADE, W. (Org.). **O sisal no Brasil**. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília, DF: Apex, 2006. cap. 8, p.114-124.

CHANG, J. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine, 1977. p. 225-232.

COUTINHO, L. M. **Algumas informações sobre a capacidade rítmica diária da fixação e acumulação de CO<sub>2</sub> no escuro em espífitas e herbáceas terrestre da mata pluvial**. São Paulo: USP/Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1965. p. 397-408 (USP. Boletim, 294).

DUQUE, G. **O nordeste e as lavouras xerófilas**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1973. 263 p.

- EL-GAMASSY, A. M. et al. Vegetative patterns and water economy of *Agave sisalana* in saline soils. **Zeitschrift fuer Acker- und flanzbau**, Berlin, v. 139, p. 165-171, 1974.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia. Recife, 1977. v. 1 (Embrapa-SNLCS. Boletim técnico, 52); (SUDENE. Recursos de solos, 10).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia. Recife, 1979. v. 2 (Embrapa-SNLCS. Boletim técnico, 52); (SUDENE. Recursos de solos, 10).
- FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Photosynthesis and carbon assimilation. In: BOOTE, K. J. et al. (Ed.). **Physiology and determination of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 187-210.
- FERRI, M. G. **Evolução do conceito de xerofilismo**. São Paulo: USP/Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 1963. p. 101-114. (USP. Boletim, 267).
- FRANCO, C. F.; ALVES, I. Sisal: como iniciar a cultura. **A Lavoura**, Rio de Janeiro, v. 95, n. 559, p. 28-29, 1993.
- GARDNER, F. P.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants**. Ames: Iowa State University Press, 1994. 327 p.
- GRANER, E. A.; GODOY JÚNIOR, C. **Culturas da fazenda brasileira**. São Paulo: Melhoramento, 1967. 461 p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531 p.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. 252 p.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic Press, 1972. 697 p.
- LOCK, G. W. **Sisal**. London: Longman, 1962. 355 p.
- LUTZENBERGER, S. C. **Guide for field crops in the tropics and the subtropics**. Washington, DC: Agency for International Development, 1974. 321 p.
- MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. In: FERRI, M. G. (Ed.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p. 117-163.
- MARQUES, N. **O sisal na Bahia**. In: CONVENÇÃO REGIONAL DO SISAL, 5., 1978. Salvador: FAEB; PROSISAL, 1978. 67 p.
- MEDINA, J. C. **Plantas fibrosas da flora mundial**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1959. 913 p.
- MEDINA, J. C. **O sisal**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1954. 285 p.
- NOBEL, P. **Introduction to biophysical plant physiology**. San Francisco: W. H. Freeman, 1974. 488 p.
- OASHI, M. da C. G. **O sisal como fonte alternativa de matéria-prima para álcool**. Campina Grande: UFPB, 1983. 207 p.
- OSBORNE, J. F.; SINGH, D. P. Sisal and other long fiber agaves. In: FEHR, W. R.; HADLEY, H. H. **Hybridization of crop plants**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. cap. 40, p. 565-575.
- PRATA, F. da C. **Principais culturas do nordeste**. Mossoró: ESAM, 1983. 251 p. (Coleção mossoroense, 5).
- RIBEIRO FILHO, J. **Cultura do sisal**. Viçosa, MG: Universidade Rural do Estado de Minas Gerais. Escola Superior de Agricultura, 1967. 88 p.
- ROSENBERG, N. J. **Microclimate**: The biological environment. New York: John Wiley, 1974. 315 p.
- SANTOS, D'A. J. Produção e consumo. In: ANDRADE, W. (Org.). **O sisal no Brasil**. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília, DF: Apex, 2006. cap.4, p.45-55
- SERRA, A. R. de M.; SILVA, S. F. **Cultura do sisal**. Rio de Janeiro: SIA, 1952. 64 p.
- SILVA, O. R. R. F. et al. Cadeia produtiva. In: ANDRADE, W. (Org.). **O sisal no Brasil**. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília, DF: Apex, 2006. cap.3, p.32-45.
- SILVA, O. R. R. F.; BELTRÃO, N. E. de M. (Org.). **Agronegócio do sisal no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPA, 1999. 205 p.
- SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**: Bahia. Recife, 1990a. 747p.
- SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**: Paraíba. Recife, 1990b. 239 p.
- SUINGA, F. A.; SILVA O. R. R. F.; COUTINHO, W. M. História. In: ANDRADE, W. (Org.). **O sisal no Brasil**. Salvador: SINDIFIBRAS; Brasília, DF: Apex, 2006. cap.1, p.18-21.





**UVA** em clima  
temperado

*Foto: Constantin Jurcut*



## 1. INTRODUÇÃO

No reino vegetal, a videira pertence à divisão *Spermatophyta*, subdivisão *Angiospermae*, classe *Dicotyledoneae*, ordem *Rhamnales*, família *Vitaceae*, gênero *Vitis*, subgêneros *Muscadinia* e *Euvitis*.

O Subgênero *Euvitis* reúne 30 espécies de videiras, dentre as quais, a mais importante para a viticultura brasileira é a espécie *Vitis labrusca* L., originária da América do Norte, e a espécie *Vitis vinifera* L., originária da Ásia-Europa (Galet, 1983). As cultivares de *V. labrusca*, ou híbridas, de maior destaque para o Brasil, são a Isabel, a Niágara Branca, a Niágara Rosada, a Concord e a Ives (Bordô, Folha de Figo).

Da espécie *V. vinifera*, destacam-se as cultivares Cabernet Sauvignon, Merlot, Chardonnay, Itália e suas mutações (Rubi, Benitaka e Brasil). Fazem parte desse grupo, entre outras, as cultivares apirenas (sem sementes) Thompson Seedless (Sultanina) e Superior Seedless (Festival).

Quanto ao destino, existem cultivares de videira para o consumo in natura, as chamadas uvas de mesa, como a Niágara Rosada e a Itália; outras, destinadas à elaboração de vinhos, como a Cabernet Sauvignon e a Chardonnay. Existem cultivares que podem ter mais de uma finalidade, ou seja, mesa, vinho ou suco, como é o caso da Isabel e da Niágara Branca.

### Introdução, expansão no Brasil e importância atual

A videira foi introduzida no Brasil por Martim Afonso de Sousa, em 1532, no Estado de São Paulo. Em 1626, chegou ao Rio Grande do Sul pelos jesuítas (Sousa, 1996). Entretanto, foi com a chegada dos imigrantes italianos, no Rio Grande do Sul, a partir de 1875, que o setor vinícola passou a ser uma atividade sócio-econômica importante em diversas cidades da Serra Gaúcha, região de colonização italiana.

Dados de 2006 mostram que, no cenário internacional, a vitivinicultura brasileira ocupa o 22º lugar em área cultivada com videiras, o 16º em produção de uva e, o 15º lugar, na produção de vinho. No que se refere às transações internacionais, dados de 2005 revelam que o Brasil foi o 24º maior importador de vinho, em quantidade, o 26º em valores de importações, o 15º em quantidade de uvas exportadas e, o 9º lugar, em valores de exportações de uvas (Mello, 2008a).

Atualmente, a produção de uva tem expressão econômica em diversos Estados da Federação Brasileira. A tabela 1 apresenta a produção total de uva, para mesa e processamento.

**Tabela 1. Produção e área colhida de uva, no Brasil, no ano de 2007, em toneladas.**

Estado	Produção (t)	Área (ha)
Minas Gerais	11.995	840
Santa Catarina	54.554	4.914
Paraná	99.180	5.700
Bahia	120.654	4.065
Pernambuco	170.326	5.673
São Paulo	193.023	10.414
Rio Grande do Sul	705.228	45.381
Brasil	1.354.960	76.987
- para processamento	637.125	-
- para mesa	717.835	-

Fonte: Mello, 2008b.

1- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Uva e Vinho, Rua Livramento, 515, C.P. 130, CEP 95700-000, Bento Gonçalves – RS. E-mail: mandelli@cnpuv.embrapa.br

2- E-mail: miele@cnpuv.embrapa.br

3- E-mail: tonietto@cnpuv.embrapa.br



## Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo

Nos climas temperados, a videira apresenta uma sucessão de ciclos vegetativos, intercalados por períodos de repouso. Os principais estádios fenológicos da videira são: dormência, brotação, floração, frutificação, desenvolvimento do fruto, maturação e queda das folhas.

Devido às baixas temperaturas, a videira entra em repouso no inverno. A poda é realizada no final do inverno, e a brotação inicia-se no final do inverno e início da primavera, quando as temperaturas sobem. A floração ocorre, em média, de meados de outubro a meados de novembro. O início da maturação, com a mudança de cor das bagas, vai dos primeiros dias de dezembro, para as cultivares de maturação precoce, ao início de janeiro, para as cultivares tardias. O término da maturação e a colheita se estendem, do início de janeiro, para as cultivares precoces, como a Chardonnay, ao final de março, para as cultivares tardias, como a Cabernet Sauvignon. Em regiões menos quentes, como no topo da Serra, no Rio Grande do Sul, e no Planalto Catarinense, as cultivares tardias podem ser colhidas até o final de abril.

### Grupos de maturação

As cultivares de videira podem ser agrupadas quanto às datas de brotação, floração e maturação. De modo geral, utilizam-se três agrupamentos: precoces, intermediárias e tardias. Quanto à maturação, as cultivares Chardonnay, Pinot Noir, Concord e Niágaras, dentre outras, fazem parte do grupo das precoces. No grupo das intermediárias, encontram-se as cultivares Riesling Itálico, Merlot, Ives e Itália. Já as cultivares Cabernet Sauvignon e Moscato Branco, são exemplos do grupo de maturação tardia.

### Estratégias para atingir alto rendimento

No cultivo da videira, deve-se buscar a maximização da relação produtividade do vinhedo versus qualidade da uva, isto é, busca-se o equilíbrio entre as partes vegetativa, produtiva e a composição da uva. Contudo, o que pode ser considerada uma alta produtividade da uva destinada à elaboração de vinho fino, poderá ser baixa para a uva de mesa. Geralmente, a alta produtividade tende a reduzir a qualidade da uva, o que não significa dizer que baixa produtividade seja sinônimo de alta qualidade. Assim, dependendo da cultivar e do destino da produção, pode-se alcançar uma ampla faixa de produtividade, variando de 4 a 5 t/ha a mais de 40 t/ha.

### Características particulares de interesse agrometeorológico, direto ou indireto

A videira exige condições climáticas específicas para se desenvolver e produzir frutos de qualidade. Na maioria dos estados brasileiros, existem estudos de macrozoneamento vitícola, baseados, principalmente, no potencial climático e no solo, com a indicação das regiões dotadas de melhores condições para o cultivo da videira. Os critérios utilizados nos zoneamentos levam em consideração, basicamente, a quantidade de horas de frio, os riscos de incidência de doenças fúngicas e a soma de calor efetivo (Westphalen, 1977; Empasc, 1978; Calve et al., 2007). Tais informações, bem como outras mais detalhadas, de meso e de micro escala, são relevantes para o sucesso da cultura. Assim, na escolha do local e da cultivar a ser explorada, devem ser consideradas as exigências específicas da cultura quanto ao clima, ao solo e aos tratamentos culturais.

## 1.1 Fenologia

Lorenz et al. (1995) propõem uma classificação unificada para os estádios fenológicos da videira. Em tal classificação, o esquema geral, para a codificação dos estádios fenológicos, está agrupado em dez estádios principais, denominados macroestádios, que correspondem aos períodos de desenvolvimento. Por sua vez, cada macroestádio está subdividido em microestádios, que descrevem, com detalhes, as

fases de desenvolvimento típicas da videira, através de uma numeração, de 00 a 99, podendo-se, assim, descrever, precisamente, cada estágio de desenvolvimento da videira, por meio de dois dígitos.

De modo geral, os macroestádios 2, 3 e 4, que correspondem, respectivamente, à formação dos ramos laterais, ao desenvolvimento dos ramos e ao desenvolvimento vegetativo dos órgãos de reprodução, são omitidos na descrição dos estádios de desenvolvimento da videira. A tabela 2 apresenta a codificação detalhada e os correspondentes estádios fenológicos. A Figura 1 ilustra as características típicas dos principais estádios fenológicos.

Em climas temperados, de um modo geral, a brotação da videira inicia-se no final do inverno e início da primavera, para as cultivares de brotação precoce, e se estende até o início de outubro, para as cultivares de brotação tardia. Em média, a floração ocorre 45 dias após a brotação. Da brotação à maturação (colheita), são necessários 150 dias para as cultivares de maturação precoce e, 165 dias, para as de maturação tardia. Do início da brotação ao final da queda das folhas, são necessários 260 dias, sendo possível a antecipação da queda das folhas por motivos de doenças ou por ocorrência de geadas precoces (outonais).

A videira é bastante sensível às condições climáticas, achando-se também sujeita à ocorrência de diversas doenças e pragas, exigindo cuidados constantes. Face às condições climáticas, as fases mais críticas da videira são a brotação, a floração e a maturação da uva.

O início da brotação da videira pode ocorrer quando ainda persiste a possibilidade de ocorrência de geadas tardias que, dependendo da sua intensidade, podem causar perdas de safra. Por isso, a escolha da cultivar e do local, para a implantação do vinhedo, deve ser bem planejada.

**Tabela 2. Codificação e descrição dos estádios fenológicos de desenvolvimento da videira, segundo a escala BBCH ampliada (Lorenz et al., 1995).**

Macroestádio	Microestádio
0 – Brotação	00 – Dormência das gemas
	01 - Início do intumescimento das gemas
	03 - Fim do intumescimento das gemas: gemas inchadas mas não verdes
	05 - Gema algodão
	07 - Início de abertura das gemas: pontas verdes
	09 - Abertura das gemas: pontas verdes de brotos claramente visíveis
1 – Desenvolvimento das folhas	11 - Primeira folha expandida e afastada do ramo
	12 - Duas folhas expandidas
	13 - Três folhas expandidas
	14 - Quatro folhas expandidas
	15 - Cinco folhas expandidas
	16 - Seis folhas expandidas
5 - Aparecimento das inflorescências	19 - Nove ou mais folhas expandidas
	53 - Inflorescências claramente visíveis
	55 - Inflorescências se expandem, flores individuais comprimidas umas às outras
6 - Floração	57 - Inflorescências inteiramente desenvolvidas e flores individuais separadas
	60 - As primeiras corolas (capuz) se desprendem do receptáculo
	61 - Início da floração: 10% das corolas caídas
	63 - Pré-floração: 30% das corolas caídas
	65 - Plena floração: 50% das corolas caídas
	68 - 80% das corolas caídas
	69 - Fim da floração

Macroestádio	Microestádio
7 – Desenvolvimento do fruto	71 - Início da formação do fruto: ovários começam a expandir-se
	73 - Bagas tamanho de grão “chumbinho”
	75 - Bagas tamanho de uma ervilha
	77 - Início do fechamento do cacho
8 – Maturação do fruto	79 - Fim do fechamento do cacho
	81 - Início da maturação: bagas começam a clarear (em uvas brancas) ou iniciam a coloração (em uvas tintas)
	83 - Continuação do clareamento ou da coloração das bagas
	85 - Bagas amolecem
9 – Início da dormência	89 - Bagas estão maduras, em ponto de colheita
	91 – Após a colheita, final da maturação da madeira dos ramos
	92 – Início da descoloração das folhas
	93 – Início da queda das folhas
	95 – 50% das folhas caídas
	97 – Fim da queda das folhas
	99 – Tratamento pós-colheita

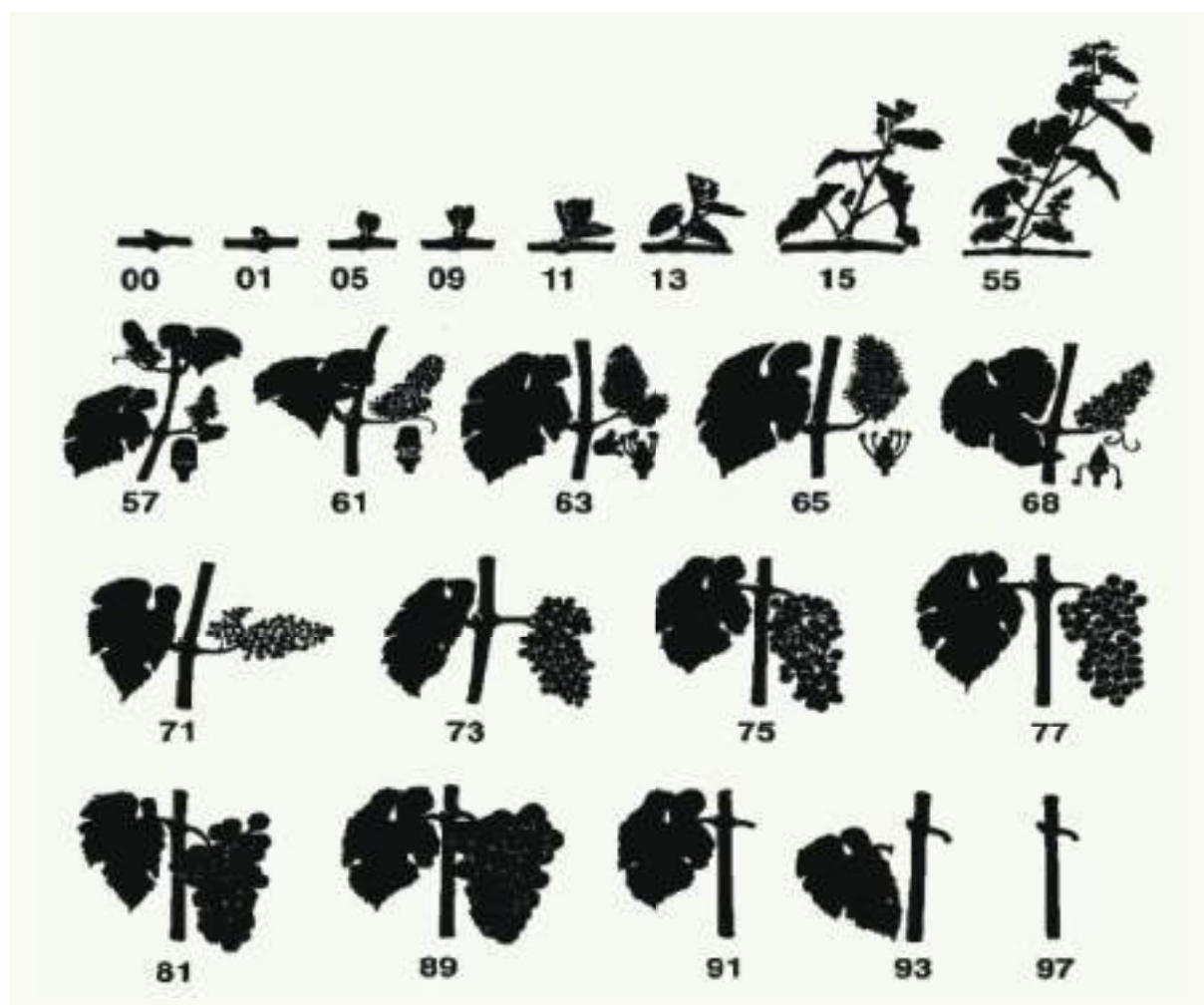


Figura 1. Codificação e estádios fenológicos de desenvolvimento da videira, segundo a escala BBCH ampliada (Lorenz et al., 1995).

A fase da floração é bastante prejudicada quando coincide com a ocorrência de tempo frio (temperaturas inferiores a 15°C), úmido ou chuvoso, condição que dificultará a floração e o pegamento dos frutos, resultando em cachos ralos, com bagas desuniformes.

O período de maturação da uva é bastante favorecido quando ocorre com pouca chuva e com bastante sol. Neste período, tempo chuvoso e nublado favorecem o aparecimento das podridões do cacho, que depreciam a uva, tanto para a elaboração de vinho quanto para o consumo in natura.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE DA VIDEIRA

### 2.1 Disponibilidade hídrica

A videira, quando em solo apropriado, possui sistema radicular desenvolvido, que pode atingir grande dimensão e profundidade. A profundidade efetiva do sistema radicular depende do ângulo geotrópico do porta-enxerto utilizado, que pode variar do superficial, como no caso do Riparia Gloire (solo raso), ao pivotante-profundo, como no caso do Rupestris du Lot (Kunh et al., 1996).

Quando cultivada em solos arenosos, o sistema radicular da videira é muito desenvolvido, podendo atingir profundidades superiores a 5 m. Isto porque as raízes se direcionam para as camadas de maior umidade, que são as mais profundas. Em solos de textura média a argilosa, a maior concentração das raízes localiza-se até 50 cm de profundidade.

No plantio, a videira apresenta um sistema radicular reduzido e, por isso, muitas vezes a disponibilidade hídrica precisa ser suprida via irrigação, situação bastante comum em solos arenosos. Com o passar dos anos, o sistema radicular vai se desenvolvendo, conferindo maior resistência à restrição hídrica.

Em geral, no inverno, os solos cultivados com a videira estão com elevada capacidade hídrica, suficiente para atender à demanda dos estádios de brotação e de floração. Para um elevado rendimento, as necessidades hídricas do período floração-mudança de cor das bagas devem ser atendidas. Neste período, uma restrição hídrica limita a produtividade do vinhedo. Via de regra, no período de maturação da uva de mesa, a restrição não é desejável. Já no caso de vinhos finos, uma restrição hídrica crescente, de leve a forte, a partir da mudança de cor das bagas, ou mesmo antes, pode alterar as características das uvas para vinificação e, para certos vinhos, pode ser desejável, a fim de se obter um produto com qualidade específica (Ojeda et al., 2006). Nos climas úmidos do sul do Brasil, tais condições podem ocorrer, naturalmente, apenas em alguns anos, especialmente em regiões mais quentes.

Como referência para a avaliação do estado hídrico da videira, a medida do potencial hídrico foliar de base é um bom indicador. Valores entre 0 e -0,2 MPa (Mega Pascal) indicam restrição hídrica ausente ou leve, recomendados para vinhedos jovens, ainda em formação, e para a obtenção de mosto concentrado; entre -0,2 e -0,4 MPa correspondem à restrição hídrica leve a média, indicados para o subperíodo mudança de cor das bagas-maturação da uva e para a obtenção de vinhos básicos; entre -0,4 e -0,6 MPa a restrição hídrica é de média a forte, indicados para o subperíodo pegamento do fruto-maturação da uva e para a obtenção de vinhos de qualidade; e, abaixo de -0,6 MPa, a restrição hídrica é forte (Carbonneau, 1998).

Existem diversos métodos para se calcular as necessidades de água de um cultivo, dentre os quais o que calcula a evapotranspiração da cultura, utilizando a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que varia conforme o desenvolvimento da cultura (Bergamaschi et al., 1992; Pereira et al., 1997). De acordo com Doorenbos & Kassam (1979), o  $K_c$  médio para a videira é de 0,45, da poda ao início da brotação, de 0,70, do início da brotação ao início da floração, de 0,80, do pegamento do fruto à compactação do cacho e, de 0,70, do início da maturação à colheita. Um valor médio de 0,60 aplica-se para todo o ciclo vegetativo.

Para a região da Serra Gaúcha, no Rio Grande do Sul, Conceição & Mandelli (2007) propõem, para o sistema de condução em latada, os seguintes valores para  $K_c$ : 0,50, da brotação ao florescimento; 0,90, da frutificação à maturação; e, 0,45, após a colheita.

Os sintomas da deficiência hídrica se manifestam com o amarelecimento das folhas mais velhas, encurtamento dos entre-nós e paralisação do crescimento das bagas. Com a intensificação da deficiência hídrica, ocorrem quedas das folhas, progressivamente, da base do ramo para as mais novas, e o murchamento das bagas.

## 2.2 Temperatura

As datas dos diferentes estádios vegetativos da videira podem ser estimadas com o uso de dados de temperatura do ar. O método mais utilizado é o de graus-dia, calculado pela diferença acumulada, durante um determinado período, entre a temperatura média diária e a temperatura-base inferior, excluindo-se os dias em que a temperatura média for inferior à temperatura-base.

Durante as semanas que precedem a brotação, as temperaturas condicionam a precocidade, que varia, para uma mesma cultivar, em função do ano, do lugar e dos fatores intrínsecos da planta. Cada cultivar apresenta uma temperatura-base de brotação específica, variando de 5,6°C (para as cultivares de brotação mais precoce) a 13,7°C (para as de brotação mais tardia) (Pouget, 1988).

Cada estágio vegetativo apresenta uma temperatura-base diferente, ou seja: brotação, 10°C; desenvolvimento vegetativo, 12°C; maturação, 14°C; e, brotação-maturação, 12°C (Pedro Júnior et al., 1993). Entretanto, para todo o ciclo da videira, o valor utilizado, universalmente, é 10°C (Winkler, 1965). De um modo geral, a videira requer, para seu crescimento e desenvolvimento, temperaturas crescentes de 10°C a 30°C, sendo que a temperatura ótima situa-se entre 25°C e 30°C. Temperaturas inferiores a 10°C, não permitem o crescimento, e, superiores a 38°C, paralisam-no. (Programa..., 1975; Reynier, 2003).

Durante o inverno, quando se encontra em dormência, a videira é bastante resistente às baixas temperaturas, podendo suportar temperaturas mínimas de até -15°C, sendo as videiras americanas mais resistentes que as européias. Tal resistência diminui drasticamente após iniciada a brotação e, temperaturas inferiores a 0°C, podem causar danos. A videira, também, é bastante resistente às altas temperaturas. Entretanto, temperaturas superiores a 40°C são prejudiciais, principalmente, quando associadas à baixa umidade relativa do ar. As temperaturas acima de 30°C e baixa umidade relativa do ar podem provocar a escaldadura na uva de mesa (Kishino & Caramori, 2007), bem como interferir na composição e na biossíntese dos constituintes do mosto da uva para industrialização. Temperaturas excessivamente altas causam o murchamento das folhas, paralisam a atividade fotossintética, degradam o ácido málico, resultando em mostos pouco equilibrados e com baixa acidez, e interferem na composição e no acúmulo de diversos constituintes da baga, como os polifenóis (Sotés, 2007). Regiões com temperaturas noturnas amenas, durante o período de maturação da uva, favorecem a síntese de substâncias fenólicas, como as antocianinas, as quais proporcionam vinhos com maior intensidade de cor.

As temperaturas de outono afetam o comprimento do ciclo vegetativo, algo importante para a maturação dos ramos e para o acúmulo de reservas na planta. A ocorrência de geadas precoces, neste estágio, acelera a queda das folhas e o fim do ciclo vegetativo da videira.

## 2.3 Radiação solar

A videira é uma planta de dia longo, exigente em luz, requerendo elevada insolação durante o período vegetativo, fator importante no processo da fotossíntese, bem como na definição da composição química da uva. Normalmente, uma maior insolação está relacionada a um menor número de dias de chuva. Nas condições de alta umidade do sul do país, tais condições são desejáveis, resultando em uvas com maior teor de açúcar e com menor acidez.

O ponto de saturação da luz refere-se à intensidade de radiação solar a partir da qual o incremento da taxa fotossintética é desprezível ou nula. Da mesma forma que o ponto de compensação, também o ponto de saturação da luz depende de fatores diversos, especialmente os relacionados com a temperatura da folha, com o sombreamento e com o potencial de água dos tecidos (Smart, 1985). Pode-se afirmar, entretanto, que o ponto de saturação da luz é de aproximadamente 750-800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  em folhas adultas não senescentes, a temperaturas que variam de 25°C a 30°C (Kriedemann, 1968; Düring, 1988). Aumentando a temperatura foliar, entretanto, o ponto de saturação da luz aumenta, progressivamente, até 1.500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Kriedemann, 1968; Zufferey & Murisier, 2000). A radiação solar excedente, quando ocorre, não é maléfica ao crescimento e ao desenvolvimento da videira.

O ponto de compensação da luz, que se relaciona com a intensidade de radiação solar na qual o balanço fotossíntese-respiração é nulo, varia em função de diversos fatores. Dentre outros, citam-se

principalmente, a cultivar, a fase de desenvolvimento da folha, as práticas agrônômicas adotadas na condução do vinhedo, as condições de solo e de clima e a temperatura do ar e da folha. Assim, folhas em desenvolvimento apresentam valores que variam de 35 a 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , quando a temperatura aumenta de 25°C a 35°C. Em folhas adultas, estes valores atingem cerca de 40  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , à temperatura de 35°C (Kriedemann, 1977; Zufferey & Murisier, 2000).

Da mesma forma, a taxa de assimilação fotossintética também varia em função de diversos fatores. Além disso, é difícil determinar o valor da taxa fotossintética máxima, em condições ideais de cultivo, pois pode variar em função das condições locais e de cultivo da videira (Kriedemann & Smart, 1971; Kriedemann, 1977; Downton, 1987; Miele, 1989). Pode-se afirmar, contudo, que em condições adequadas, a assimilação de dióxido de carbono, pelas folhas mais novas, é da ordem de 7,5  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , enquanto que, nas folhas desenvolvidas, tal valor atinge cerca de 15  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Zufferey & Murisier, 2000). De fato, as folhas novas, com aproximadamente 50 dias de idade, têm uma capacidade maior de assimilação de carbono que as folhas mais velhas. O padrão de assimilação é o mesmo, mas, como mencionado, as folhas novas assimilam o dobro, em relação às mais velhas. Saliente-se, contudo, que as folhas velhas, ainda que assimilem bem menos que a novas, são importantes para o suprimento de assimilados às partes permanentes da videira, no fim do ciclo vegetativo.

No cultivo da videira destinada à elaboração de vinhos finos, a produtividade não é o fator mais importante, mas sim, a qualidade da uva e do vinho. Assim, deve-se objetivar a maximização da relação produtividade do vinhedo/qualidade da uva.

Quanto ao índice ideal de área foliar da videira, o mesmo varia em função de diversos fatores, como a cultivar, as práticas culturais adotadas no vinhedo, especialmente quanto ao sistema de condução e o manejo do dossel vegetativo da videira, e o objetivo do produto a ser obtido. Assim, para videiras conduzidas no sistema de condução em espaldeira, que é o mais utilizado no mundo, recomenda-se um índice de área foliar de 1,8 (18.000  $\text{m}^2$  de folhas/ha) (Smart & Robinson, 1991; Miele & Rizzon, 2004). Já nos sistemas de condução que permitem maior expansão vegetativa, como o latada, o índice de área foliar pode ser superior a 3, como constatado por Cardoso (2007) na cultivar Moscato Giallo, cultivada na Serra Gaúcha.

## 2.4 Fotoperíodo

O crescimento e o desenvolvimento da videira são afetados por fatores diversos. Na faixa de latitude onde a videira é cultivada, entretanto, o comprimento do dia tem efeito, relativamente, pouco expressivo. É importante ressaltar, contudo, que pesquisas evidenciaram que a videira é uma planta, preferencialmente, de dia longo, o que favorece o crescimento vegetativo da parte aérea e das raízes, com conseqüente formação de maior quantidade de matéria seca. Igualmente, a condição de dia longo favorece o tamanho das folhas, o número de meristemas dos ramos e a indução floral. Foram constatadas, ainda, algumas diferenças entre cultivares da espécie *Vitis vinifera* e diferentes espécies de videiras americanas (Huglin & Schneider, 1998).

## 2.5 Vento

A ação do vento na videira pode afetar a produção, quer por danos físicos aos diferentes órgãos, quer por danos fisiológicos causados pelo fechamento estomático e interferência no processo fotossintético.

Os ventos, no início da vegetação, mesmo quando de intensidade moderada, podem causar grandes estragos, pois os brotos jovens se destacam das plantas com relativa facilidade, diminuindo a produção e dificultando a poda do ano seguinte. Os ventos também podem causar injúrias aos cachos, devido à fricção constante das folhas, que ocasionam lesões na casca da uva, depreciando-as, principalmente, para o consumo in natura. Ocasionalmente, também, a dilaceração e fissuras dos tecidos das folhas, o que pode diminuir a atividade fotossintética, aumentar a respiração e facilitar a entrada de patógenos. Entretanto, ventos fracos contribuem para o mais rápido secamento da folhagem e das inflorescências, diminuindo o risco de doenças, e para a movimentação das folhas, que permite a penetração da luz, possibilitando a realização da fotossíntese também nas camadas de folhas mais internas do dossel vegetativo.

Os danos causados pelo vento podem ser atenuados, ou até mesmo evitados, com a adequada localização do vinhedo, do correto sistema de sustentação, orientação das filas, condução e manejo do vinhedo e, também, com a instalação de quebra-ventos.

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuva intensa

A ocorrência de granizo causa prejuízo aos vinhedos que, dependendo da intensidade e duração, pode ser de pequena monta (lesões nas folhas e cachos, que causam diminuição da produção e da qualidade da uva daquela safra, mas sem danos para a futura safra) ou muito graves (perda total da produção, com lesões profundas nos ramos, que obrigam a realização de uma poda severa, que irá interferir na produção das futuras safras).

Os danos provocados pelo granizo são mais graves nos tecidos tenros e ainda não lignificados. Por isso, vinhedos em formação, quando atingidos pelo granizo, podem ter a estrutura (caule e braços) comprometida devido às lesões. Neste caso, deve-se fazer uma poda de renovação, para a eliminação de todos os tecidos atingidos. Com o passar dos anos, à medida que os tecidos vão se lignificando, as lesões causadas pelo granizo são menos profundas e de menor impacto sobre a produção. Entretanto, as lesões necessitam ser convenientemente tratadas, pois são portas de entrada para diversos patógenos.

Estudos de Berlato et al. (2000) calcularam a probabilidade de ocorrência de granizo para as onze regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul, mostrando que a probabilidade de ocorrência de granizo na primavera é de 64% e, de 39%, no verão.

O método mais eficiente de proteção contra o granizo é a tela antigranizo. A cobertura plástica, tipo ráfia, e as telas de sombreamento também propiciam proteção. Tendo em vista o custo elevado das coberturas, é necessário verificar a viabilidade econômica de sua utilização.

Quando ocorrem no período de floração, as chuvas intensas dificultam a polinização e o pegamento do fruto, ocasionando a formação de cachos com menor número de bagas.

As chuvas intensas são mais prejudiciais no final do período de maturação das uvas, pois aumentam os riscos de ocorrência das podridões do cacho e da rachadura de bagas nas cultivares de casca mais sensível. Além disso, causam perda da qualidade devido à diluição dos constituintes do mosto (menos açúcar e mais acidez, dentre outros).

#### 3.2 Seca fora de época e veranico

O déficit hídrico, em vinhedo em formação, é prejudicial, pois interfere no crescimento e no desenvolvimento da videira. Quando ocorre em vinhedos destinados à produção de uva de mesa, no final da maturação, pode beneficiar a qualidade da uva. Vinhedos em produção, instalados em solos adequados e destinados à elaboração de vinhos finos, geralmente são beneficiados com a ocorrência de seca no período de maturação da uva. Isto porque há inibição no estabelecimento das podridões da uva e possibilidades de realizar a colheita quando os frutos apresentam casca, polpa e sementes em estágio ideal de maturação. Nestas condições, as bagas podem sintetizar e acumular mais açúcar, pigmentos, taninos, substâncias aromáticas e seus precursores, substâncias orgânicas e minerais (Zanus & Mandelli, 2004).

Vinhedos instalados em solos adequados possibilitam bom desenvolvimento e aprofundamento do sistema radicular, podendo suportar, por curtos períodos, potenciais de água no solo próximos ao do ponto de murcha (-1,5 MPa).

#### 3.3 Vento intenso

Os danos ocasionados pelo vento dependem do estado vegetativo da videira e da localização do vinhedo, sendo que os mais expostos sofrem maiores danos. Deve-se considerar, entretanto,

que ventos de baixa intensidade podem danificar, e até mesmo arrancar, brotos de videira nos primeiros estádios de desenvolvimento. À medida que se lignificam, os brotos vão se tornando mais resistentes à ação do vento.

Ventos intensos, principalmente quando o vinhedo está em plena vegetação ou no período de maturação da uva, podem causar a queda do sistema de sustentação do vinhedo (postes e aramados) e, conseqüentemente, das plantas, causando grandes prejuízos, como os verificados na safra de 2009 em Monte Belo do Sul, RS, onde ventos de  $75,6 \text{ km h}^{-1}$ , associados com chuva, ocasionaram a derrubada de 21 vinhedos (cerca de 20 ha) conduzidos no sistema latada. Por isso, um correto dimensionamento da estrutura do vinhedo deve considerar o peso da parte vegetativa (tronco, ramos e folhas), o peso da parte reprodutiva (cachos) e a ação do vento. A manutenção periódica da estrutura do vinhedo, com a substituição de postes e arames comprometidos, deve ser uma atividade de rotina, que contribui, em muito, para que o vinhedo resista à ação dos ventos intensos.

### 3.4 Geadas

As geadas que ocorrem no período de dormência da videira são benéficas, pois as baixas temperaturas no inverno contribuem para a quebra de dormência das gemas, melhoram a brotação da videira e a maturação dos ramos, eliminando, ainda, alguns parasitas. Iniciada a abertura das gemas, a ocorrência de geadas passa a ser extremamente prejudicial, pois pode causar sérios danos às plantas e graves prejuízos econômicos aos viticultores.

Os danos provocados pelas geadas dependem da intensidade e da duração do fenômeno. Os sintomas de danos podem ser percebidos nos tecidos jovens e gemas em início de brotação, que se tornam flácidos, chamuscados e de coloração caramelada, secando posteriormente. Isso ocorre devido à formação de gelo no interior das células que, ao crescerem, acabam causando a perfuração das membranas celulares. Adicionalmente, a casca dos ramos afetados se abre, mostrando o floema.

Para as condições do sul do Brasil, geralmente os danos por geadas ocorrem durante o período de brotação, não afetando os tecidos mais velhos.

No estágio de início do intumescimento da gema, a videira pode resistir até  $-3,5^{\circ}\text{C}$  e, na de gema algodão, a até  $-1,1^{\circ}\text{C}$ . No início do crescimento dos brotos, pode resistir até  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , sendo que, a partir destes estádios iniciais, não suporta temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  (Novoa, 2003).

As baixas temperaturas, que ocorrem nos estádios iniciais de desenvolvimento da videira, embora não formadoras de geadas, causam a paralisação do crescimento, o crestamento das folhas da parte terminal dos ramos e o encurtamento dos meristemas. Podem também ocasionar a filagem, que é a transformação parcial ou total da inflorescência em gavinha (Reynier, 2003). Caso ocorra na época de floração, as baixas temperaturas interferem na abertura das flores e na viabilidade do pólen, acarretando, por isso, prejuízos à produtividade do vinhedo.

Estudos mostram que, quando a temperatura mínima do ar, no abrigo meteorológico, for menor ou igual a  $3,0^{\circ}\text{C}$ , existe a condição de formação de geadas. A probabilidade de ocorrência de temperatura mínima decenal do ar igual ou menor de  $3^{\circ}\text{C}$ , para as onze regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul, foi determinada por Oliveira et al. (1997).

Existem diversos métodos de controle de geadas, que podem ser diretos, uma vez que visam a melhorar o balanço de energia, evitando que a temperatura mínima de dano seja atingida, ou indiretos, aqueles que não modificam o balanço de energia do local, sobre os quais o viticultor pode e deve atuar.

Os riscos de geadas podem ser reduzidos, e até eliminados, se o vinhedo estiver em região recomendada pelo zoneamento, em local adequadamente escolhido, implantado com cultivares de brotação adequada e conduzidos em sistema de condução e datas de podas bem planejadas. Agregam-se a isto, aqueles procedimentos executados com antecedência à noite de geadas, entre os quais a eliminação das invasoras do vinhedo, a manutenção do solo não trabalhado, a distribuição da cobertura morta em faixa, o uso de quebra-ventos na parte superior do vinhedo e de vegetação rasteira na parte inferior. Tais práticas constituem-se em formas simples e naturais de defesa preventiva contra as geadas.



### 3.5 Chuva excessiva e excesso hídrico prolongado

A videira pode ser cultivada em diversos tipos de solos, com exceção daqueles muito úmidos e turfosos, ou dos que apresentam lençol freático muito superficial. Sendo assim, os impedimentos quanto ao solo devem ser solucionados antes do plantio da videira, pois a planta não se desenvolve em solos encharcados e pouco arejados.

De um modo geral, o excesso hídrico intensifica o aparecimento de doenças fúngicas, causando problemas na floração e no pegamento do fruto, com redução da produtividade. Quando ocorre no período de maturação, favorece a ocorrência de podridões do cacho, podendo ocasionar a rachadura das bagas em algumas cultivares, o que reduz o teor de açúcar e aumenta a acidez da uva, diminuindo, assim, a qualidade da uva, seja para a indústria ou para o consumo in natura.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade das uvas e dos vinhos é bastante influenciada pelo tipo de clima da região e pela variabilidade interanual do mesmo. Visando caracterizar e classificar os climas, do ponto de vista do interesse vitícola, em particular para a produção de vinhos, foi desenvolvido o Sistema de Classificação Climática Multicritérios Geovíticola (Tonietto & Carbonneau, 2004; Sistema..., 2008). Tal Sistema pode ser acessado no site <http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm/>, incluindo, dentre outros, a possibilidade de consulta à base de dados mundial das regiões vitivinícolas, bem como o cálculo, on-line, dos índices climáticos vitícolas do Sistema CCM.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. 125 p.

BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Riscos de ocorrência de granizo no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.

CALVE, L. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura da videira no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.

CARBONNEAU, A. Irrigation, vignoble et produit de la vigne. In: TIERCELIN, J. L. (Coord.). **Traité d'irrigation**. Paris: Lavoisier, 1998. p. 257-298. cap. 4.

CARDOSO, L. C. **Alterações microclimáticas em vinhedos de *Vitis vinifera* L. cv. Moscato Giallo pelo uso de cobertura plástica**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado)–Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. **Necessidade de água da cultura da videira na região da Serra Gaúcha**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. 4 p.

DOORENBOS, Y.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO. Riego y drenaje, 33).

DOWTON, W. J. S.; GRANT, W. J. R.; LOVEYS, B. R. Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grape vines. **New Phytologist**, Cambridge, v. 105, n. 1, p. 71-80, 1987.

DÜRING, H. CO<sub>2</sub> assimilation and photorespiration of grapevine leaves: responses to light and drought. **Vitis: Berichte uber rebenforschung**, Siebeldingen, v. 27, p. 199-208, 1988.

EMPRESA CATARINENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento agroclimático do Estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: Empasc, 1978. 150 p.

GALET, P. **Précis de viticulture**. 4. ed. Montpellier: Déhan, 1983. 584 p.

HUGLIN, P.; SCHNEIDER, C. **Biologie et écologie de la vigne**. 2. éd. Paris: Tec&Doc, 1998. 370 p.

KISHINO, A. Y.; CARAMORI, P. H. Fatores climáticos e o desenvolvimento da videira. In: KISHINO, A. Y.; CARVALHO, S. L. C. ; ROBERTO, S. R. (Ed.). **Viticultura tropical: o sistema de produção do Paraná**. Londrina: Iapar, 2007. p. 59-86.

KRIEDEMANN, P. E. Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature, and leaf age. **Vitis, Berichte uber rebenforschung**, Siebeldingen, v. 7, p. 213-220, 1968.

KRIEDEMANN, P. E. Vineleaf photosynthesis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE QUALITY OF THE VINTAGE, 1977, Cape Town. **Proceedings...** Cape Town: South African Minister of Agriculture: Office International de la Vigne et du Vin, 1977. p. 67-87.

KRIEDEMANN, P. E.; SMART R, E. Effect of radiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. **Photosynthetica**, Prague, v. 97, n. 1, p. 6-15, 1971.

KUHN, G. H. et al. **O cultivo da videira: informações básicas**. 2. ed. Bento Gonçalves: Embrapa-Cnpuv, 1996. 60 p. (Embrapa-Cnpuv. Circular técnica, 10).

LORENZ, D. et al. Phenological growth stages of grapevine (*Vitis vinifera* L.) - Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v. 1, p. 100-103, 1995.

MELLO, L. M. R. **Atuação do Brasil no mercado vitivinícola mundial: panorama 2007**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2008a. Disponível em: < [http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007\\_vitivinicola\\_mundial.pdf](http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007_vitivinicola_mundial.pdf) >. Acesso em: 12 maio 2008.

MELLO, L. M. R. **Viticultura brasileira: panorama 2007**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2008b. Disponível em: < [http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007\\_vitivicultura.pdf](http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007_vitivicultura.pdf) > Acesso em: 5 maio 2008.

MIELE, A. Influência do sistema de condução na evolução dos açúcares redutores e da acidez total durante a maturação da uva: relação com área foliar, radiação solar e fotossíntese. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 31-40, 1989.

MIELE, A.; RIZZON, L. A. Considerações teórico-práticas sobre o sistema de produção para a videira Cabernet Sauvignon conduzida em latada e destinada à elaboração de vinhos finos. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 6., 2004, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção: Embrapa Tabuleiros Costeiros: Universidade Federal de Sergipe, 2004. 1 CD-ROM.

NOVOA, R. **Las heladas en agricultura**. La Platina: INIA, [2003]. 60 p. Disponível em: <<http://alerce.inia.cl/docs/posters/Poster012RNS.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2008.

OJEDA, H. et al. Determinación y control del estado hídrico de la vid; efectos morfológicos y fisiológicos de la restricción hídrica en vides. **Revista de Enología**, Godoy Cruz, n. 5, p. 21-28, 2006.

OLIVEIRA, H. T.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de geada no estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 77-79.

PEDRO JÚNIOR, M. J. et al. Caracterização fenológica da videira 'Niagara Rosada' em diferentes regiões paulistas. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 153-160, 1993.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpiração)**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.

POUGET, R. Le débourrement des bourgeons de la vigne: méthode de prévision et principes d'établissement d'une échelle de précocité de débourrement. **Connaissance de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 22, n. 2, p. 105-123, 1988.

PROGRAMA DE INVESTIMENTOS INTEGRADOS PARA O SETOR AGROPECUÁRIO. **Zoneamento agrícola**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, 1975. 303 p.

REYNIER, A. **Manuel de viticulture**: guide technique du viticulteur. 9. ed. Paris: Tec & Doc, 2003. 548 p.

SISTEMA CCM geovíticola. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2008. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/tecnologias/ccm/>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

SMART, R. E. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 36, n. 3, p. 230-239, 1985.

SMART, R.; ROBINSON, M. **Sunlight into wine**: a handbook for winegrape canopy management. Adelaide: Winetitles, 1991. 88 p.

SOTÉS, V. Comportamiento fisiológico de la vid en climas cálidos y en particular durante el período de maduración de la uva. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE PESQUISA, 2004, Recife e Petrolina. **Anais...** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. p. 75-83. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 60).

SOUSA, J. S. I. **Uvas para o Brasil**. Piracicaba: Fealq, 1996. 791 p.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 124, n.1/2, p. 81-97, 2004.

WESTPHALEN, S. L. Bases ecológicas para a determinação de regiões de maior aptidão vitícola no Rio Grande do Sul. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE LA UVA Y DEL VINO, 1., 1977, Montevideo. **Anales**. Montevideo: Ministerio de Industria y Energía. Laboratorio Tecnológico de Uruguay, 1977. V.1 p. 89-101. (Cuaderno tecnico, 38).

WINKLER, A. J. **Viticultura**. México: Continental, 1965. p. 85-95.

ZANUS, M.; MANDELLI, F. **Safra da uva na Serra Gaúcha**: perspectiva de vinhos tintos de alta qualidade e de sabor mais intenso. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. 6 p.

ZUFFEREY, V.; MURISIER, F. Photosynthèse des feuilles de vigne (cv. *Chasselas*). I. Influence de la lumière et de la température. **Revue Suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture**, Nyon, v. 32, n. 6, p. 341-346, 2000.





**UVA** em clima  
tropical

*Foto: Leonardo Breda*



# Uva em clima tropical

Marco A. F. Conceição<sup>(1)</sup>

Francisco Mandelli<sup>(2)</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

A videira é uma planta que pertence à família das vitáceas, sendo as espécies mais cultivadas as do gênero *Vitis*, destacando-se as videiras européias (*Vitis vinifera*), as americanas (*Vitis labrusca* e *Vitis bourquina*) e as híbridas, provenientes de cruzamentos entre as diferentes espécies (Kuhn et al., 1996). O cultivo comercial ocorre numa ampla faixa do globo terrestre, entre as latitudes 52° N e 40° S e, muitas vezes, em condições áridas e semi-áridas, tornando imprescindível, nestes casos, o uso da irrigação (Sentelhas, 1998).

A viticultura tropical no Brasil tem apresentado uma evolução recente, sendo que, cerca de 35% da área e 45% da produção de uvas, do país, estão em áreas tropicais, com destaque para os Estados do Paraná (norte), São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Bahia (Mello, 2008). Algumas novas áreas têm sido implantadas, com uvas para suco e vinho de mesa, que incluem as regiões de Nova Mutum, no Mato Grosso, e Santa Helena de Goiás (Camargo et al., 2008).

Em condições tropicais, a videira pode produzir continuamente, devido às condições térmicas presentes nessas regiões. Apesar disso, um período de repouso de 20 a 30 dias, entre o final de uma safra e o início de outra, deve ser respeitado.

A brotação da videira pode ocorrer em qualquer época do ano, com o uso de reguladores vegetais. A floração ocorre, em média, 30 dias após a brotação. A duração do ciclo da cultura, da brotação à colheita, varia, normalmente, de 90 a 150 dias, conforme a cultivar e a região, sendo que, uma mesma cultivar, em regiões mais quentes, apresenta ciclos menores. Geralmente, as cultivares americanas ou híbridas apresentam ciclos mais curtos que as cultivares européias (*Vitis vinifera* L.).

As fases mais críticas da videira, face às condições climáticas, são a brotação, a floração e a maturação da uva. A fase da floração é bastante prejudicada se ocorrer sob condições de tempo frio (temperaturas inferiores a 15°C) e chuvoso, o que dificulta a floração e o pegamento do fruto, resultando em cachos ralos, com bagas desuniformes.

A fase mais crítica para o suprimento hídrico é a de formação das bagas, situada entre o final do florescimento e o início da maturação. Alguns autores consideram que o déficit hídrico afeta o número de células por baga, principalmente na etapa inicial de desenvolvimento (Williams & Matthews, 1990). Entretanto, de acordo com Ojeda et al. (2001), o déficit hídrico não afeta a divisão celular, mas reduz o volume do pericarpo, provavelmente, devido às modificações nas propriedades estruturais dos componentes das células e, conseqüentemente, na expansibilidade da parede celular. Por tal razão, o decréscimo no volume das células, neste período, é irreversível.

O período de maturação é bastante favorecido, se ocorrer em condições de pouca chuva e bastante sol. Tempo chuvoso e nublado, neste período, favorece o aparecimento das podridões do cacho, que depreciam a uva, tanto para a elaboração de vinho quanto para o consumo in natura.

## Fenologia

De acordo com Lorenz et al. (1995), os estádios fenológicos de desenvolvimento estão divididos em nove principais (macroestádios), que correspondem aos períodos de desenvolvimento. Cada macroestádio, por sua vez, está subdividido em microestádios, para a descrição das fases de desenvolvimento mais curtas e para as características da cultura. Assim, pode-se descrever, precisamente, cada estádio, por meio de dois dígitos, como se observa na Tabela 1. A Figura 1 apresenta um esquema ilustrativo dos diferentes estádios fenológicos da videira.

1- Eng. Civil, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Uva e Vinho – Estação Experimental de Viticultura Tropical. Córrego Barra Bonita, s/nº, C.P. 241, CEP 15700-000, Jales - SP. E-mail: marcoafc@cnpuv.embrapa.br

2- Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador, EMBRAPA – Uva e Vinho. E-mail: mandelli@cnpuv.embrapa.br

De modo geral, os macroestádios 2 (formação dos ramos laterais), 3 (desenvolvimento dos ramos) e 4 (desenvolvimento vegetativo dos órgãos de reprodução) são omitidos na descrição dos estádios de desenvolvimento da videira.

O macroestádio de brotação (0) vai desde a dormência das gemas (00) até a abertura das gemas, com pontas verdes visíveis (09). O macroestádio 1, que corresponde ao desenvolvimento foliar, inicia-se quando a primeira folha se expande (11) e estende-se até nove ou mais folhas expandidas (19).

Os macroestádios 5 e 6 compreendem o período de floração, iniciando-se no momento em que as inflorescências se tornam visíveis (53) e estendendo-se até o final da floração (69). O macroestádio 7 corresponde ao período de frutificação, indo do início da formação dos frutos (71) até o fechamento dos cachos (79). O período de maturação corresponde ao macroestádio 8, do início da maturação das bagas (81) até a colheita (89).

O macroestádio 9 marca o início da dormência e a queda de folhas, o que não ocorre em regiões tropicais, a não ser que seja induzido por um déficit hídrico, com este propósito. Assim, na fase pós-colheita, o único microestádio a ser considerado é o referente ao final da maturação da madeira dos ramos (91).

**Tabela 1. Codificação e descrição dos estádios fenológicos de desenvolvimento da videira, segundo a metodologia de Lorenz et al. (1995).**

Macroestádio	Microestádio
0 – Brotação	00 – Dormência das gemas
	01 - Início do intumescimento das gemas
	03 - Fim do intumescimento das gemas: gemas inchadas mas não verdes
	05 - Gema algodão
	07 - Início de abertura das gemas: pontas verdes
	09 - Abertura das gemas: pontas verdes de brotos claramente visíveis
1 – Desenvolvimento das folhas	11 - Primeira folha expandida e afastada do ramo
	12 - Duas folhas expandidas
	13 - Três folhas expandidas
	14 - Quatro folhas expandidas
	15 - Cinco folhas expandidas
	16 - Seis folhas expandidas
	19 - Nove ou mais folhas expandidas
5 - Aparecimento das inflorescências	53 - Inflorescências claramente visíveis
	55 - Inflorescências se expandem, flores individuais comprimidas umas às outras
	57 - Inflorescências inteiramente desenvolvidas, flores individuais separadas
6 - Floração	60 - As primeiras corolas (capuz) se desprendem do receptáculo
	61 - Início da floração: 10% das corolas caídas
	63 - Pré-floração: 30% das corolas caídas
	65 - Plena floração: 50% das corolas caídas
	68 - 80% das corolas caídas
	69 - Fim da floração

Macroestádio	Microestádio
7 – Desenvolvimento do fruto	71 - Início da formação do fruto: ovários começam a expandir-se
	73 - Bagas tamanho de grão “chumbinho”
	75 - Bagas tamanho de uma ervilha
	77 - Início do fechamento do cacho
	79 - Fim do fechamento do cacho
8 – Maturação dos frutos	81 - Início da maturação: bagas começam a clarear ou iniciam a coloração
	83 - Continuação do clareamento ou da coloração das bagas
	85 - Bagas amolecem
	89 - Bagas estão maduras, em ponto de colheita

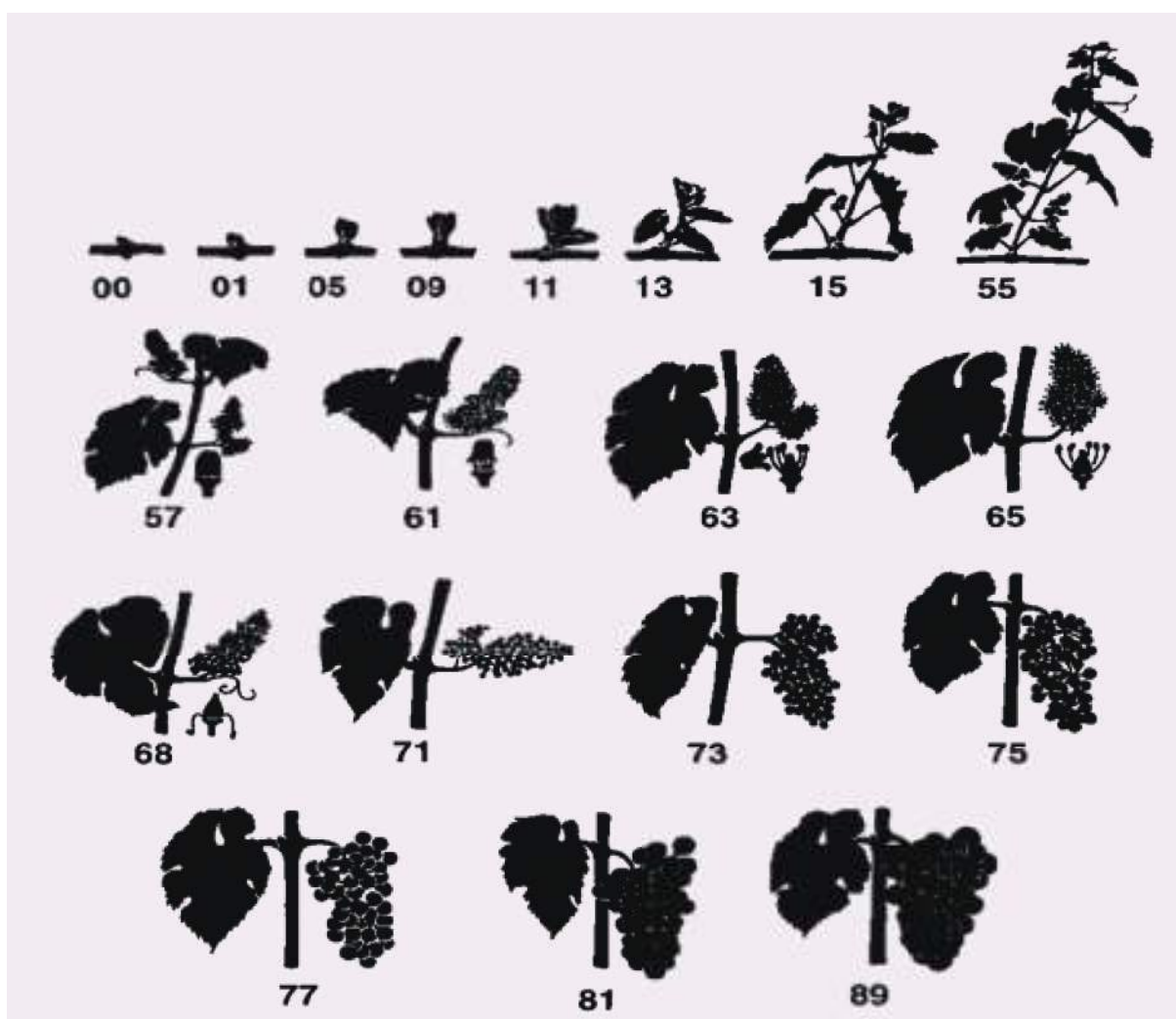


Figura 1. Esquema ilustrativo dos estádios fenológicos de desenvolvimento da videira, de acordo com Lorenz et al. (1995).

A duração de cada estágio e do ciclo total da cultura varia de acordo com a região, a cultivar e a época da poda. A cultivar Niágara Rosada (*Vitis labrusca*) apresenta, em Jundiá (SP), uma duração do ciclo (da poda à colheita) variando de 124 a 153 dias, conforme a época da poda (Pedro Júnior et al., 1994). O período entre a poda e o início da brotação varia de 11 a 26 dias; da brotação ao início do florescimento, de 26 a 34 dias; deste estágio às bagas tamanho “chumbinho”, de 14 a 17 dias; das



bagas “chumbinho” ao final do desenvolvimento dos frutos, de 48 a 51 dias; do início da maturação à colheita, de 22 a 29 dias.

Na região norte do Estado do Rio de Janeiro, a mesma cultivar, Niágara Rosada, apresenta um ciclo menor, entre 94 e 123 dias (Silva et al., 2008). Da poda ao início da brotação, a duração é de 10 dias; da brotação à floração plena, de 18 a 25 dias; da floração plena ao início da maturação, de 51 a 58 dias; do início da maturação à maturação plena, de 15 a 30 dias. Na região noroeste de São Paulo, as durações dos estádios da cv. Niágara Rosada apresentam valores semelhantes, sendo de 13 dias, da poda à brotação; 18 dias, da brotação ao início do florescimento; 14 dias, deste último estágio ao início da frutificação; 56 dias, da frutificação ao início da maturação; e, 21 dias, da maturação à colheita, perfazendo um total de 122 dias (Conceição & Maia, 2001).

Em Petrolina (PE), Leão & Silva (2003) verificaram que os ciclos de cinco cultivares de uvas sem sementes (*Vitis vinifera* L.) variaram entre 91 e 105 dias. As durações médias para os diferentes períodos (microestádios) são: das gemas dormentes às gemas algodão, de 6 a 7 dias; das gemas algodão ao início da brotação, de 3 a 4 dias; do início da brotação a seis folhas expandidas, de 4 a 5 dias; do estágio anterior ao início da floração, de 15 a 18 dias; do início da floração à plena floração, 4 dias; da plena floração ao início da formação do fruto, de 4 a 6 dias; da fase anterior às bagas tamanho “ervilha”, de 6 a 7 dias; das bagas “ervilha” ao fechamento do cacho, de 9 a 13 dias; do anterior ao início da maturação, de 15 a 21 dias; do início da maturação à maturação plena, de 19 a 30 dias.

Murakami et al. (2002) constataram que a cultivar Itália (*Vitis vinifera* L.), na região norte do Rio de Janeiro, apresenta ciclos variando de 138 a 157 dias, conforme a época de poda. O período entre a poda e a gema algodão apresenta duração de 10 a 14 dias; da gema algodão à brotação, de 4 a 7 dias; da brotação ao aparecimento da inflorescência, 7 dias; do aparecimento da inflorescência ao florescimento pleno, de 14 a 25 dias; do florescimento ao início da maturação, de 62 a 68 dias; e, do início da maturação à colheita, de 39 a 51 dias.

## 2. CONDICIONANTES AGROMETEOROLÓGICOS DA PRODUTIVIDADE

### 2.1 Disponibilidade Hídrica

Diferentes tipos de solos têm sido utilizados para o cultivo da videira. De um modo geral, o desempenho é melhor em solos leves, profundos e bem drenados, uma vez que solos pesados, compactos e com baixa capacidade de drenagem, são limitantes para o desenvolvimento da cultura (Terra, 2000). Em solos profundos, o sistema radicular da videira pode atingir vários metros de profundidade (Terra et al., 1993). Independente, contudo, da textura do solo, de uma maneira geral, a maior parte das raízes concentra-se até os primeiros 60 cm de profundidade, principalmente sob irrigação localizada (Basso & Miranda, 1997; Pires et al., 1997; Chadha & Shikhamany, 1999; Santos et al., 2002; Basso et al., 2003; Nascimento et al., 2006).

A Figura 2 ilustra a variação de umidade no perfil do solo, em dois dias consecutivos, em plantas da cultivar Niágara Rosada (*Vitis labrusca*), sobre IAC 313 (Tropical), em Jales, SP (Conceição, 2001). Observa-se que a maior variação ocorre até a profundidade de 60 cm, enquanto que, a 70 cm, a umidade praticamente não varia de um dia para o outro.

O uso da água por um vinhedo é caracterizado por uma baixa demanda no início da fase de crescimento e após a colheita, e por uma alta demanda quando o dossel está plenamente desenvolvido, sendo a evapotranspiração da cultura (ETc), para vinhedos em formação, menor que para os já estabelecidos (Mullins et al., 1992). Enquanto, no início desenvolvimento da planta, a baixa demanda deve-se à menor área foliar das plantas, a redução das taxas de transpiração, após a colheita, deve-se, principalmente, ao aumento na resistência do mesófilo, nas folhas mais velhas (Patakas et al., 1997).

O tipo de folha da cultivar também pode influenciar o uso da água. As folhas mais largas da cultivar Concord (*Vitis labrusca*), por exemplo, com bordas pouco recortadas, aumentam a resistência da camada limite, o que reduz a transferência de calor sensível, provocando a ocorrência ocasional de estresse térmico e a redução na transpiração (Dragoni et al., 2006).

As condições microclimáticas, no interior dos vinhedos, influem diretamente na evapotranspiração da cultura. Tais condições dependem, basicamente, do total e da distribuição da área foliar no espaço e interação com o clima, acima do solo, sendo que, no centro do dossel, a evapotranspiração é reduzida, devido aos menores níveis de radiação e de velocidade do vento (Smart, 1985).



Figura 2. Distribuição de água no perfil do solo, em videira Niagara Rosada enxertada em porta-enxerto IAC 313, em Jales, SP (Conceição, 2001).

O sistema de condução exerce papel preponderante no consumo hídrico da cultura (van Zyl & van Huyssteen, 1980; Dragoni et al., 2006). A carga de frutos também afeta a demanda hídrica da videira. O gradiente de potencial hídrico, entre as folhas expostas ao sol, as folhas sombreadas, os cachos e o solo, explica o fluxo de água na planta, dos cachos para as folhas, durante o dia e, do solo para os cachos, durante a noite, mostrando porque o consumo hídrico pode aumentar com o incremento do número de cachos na planta. Os cachos podem ser vistos, assim, como reservatórios de água, abastecidos durante a noite, e fornecedores de água para as folhas e outros tecidos, durante o dia (van Zyl, 1987).

A densidade de plantio pode alterar o consumo de água das plantas. Em áreas com maior densidade, há um maior esgotamento da água disponível do solo, resultando em menores valores do potencial hídrico das folhas, no fechamento antecipado dos estômatos e nas menores taxas de transpiração (Yuste et al., 2004).

O uso de telas plásticas para cobrir o parreiral, como é comum no noroeste paulista e no norte do Paraná, pode afetar a demanda hídrica da cultura, uma vez que, com o seu uso, há uma diminuição expressiva da radiação solar incidente sobre o dossel (Conceição & Marin, 2005). O uso de cobertura plástica, empregado para proteção contra a incidência de chuvas, também reduz a radiação solar, fazendo com que a demanda hídrica possa representar até 50% do valor sem cobertura (Rana et al., 2004).

A estimativa diária da  $E_{Tc}$ , durante o ciclo da cultura, é realizada, normalmente, multiplicando-se os valores diários da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) pelos respectivos coeficientes da cultura ( $K_c$ ), referentes a cada estágio de desenvolvimento das plantas. No início do desenvolvimento vegetativo (após a poda), a área foliar é pequena e o valor de  $K_c$  ( $K_{ci}$ ) será função, principalmente, da evaporação da água do solo, que está relacionada à frequência de irrigação e à evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) do local (Allen et al., 1998). Com o crescimento dos ramos, o  $K_c$  aumenta, pois aumenta a transpiração das plantas, atingindo um valor máximo no período de maior desenvolvimento vegetativo ( $K_{cm}$ ). No final do ciclo, o  $K_c$  diminui, por causa do envelhecimento e queda de folhas.

Pereira (1997) apresenta valores, respectivos, de  $K_{ci}$ ,  $K_{cm}$  e  $K_{cf}$ , iguais a 0,50, 0,85 e 0,45, para variedades rústicas (*Vitis labrusca* L.) e iguais a 0,30, 0,70 e 0,45, para variedades européias (*Vitis vinifera* L.). Valores semelhantes são recomendados por Allen et al. (1998).

Evidentemente, o sistema de irrigação pode afetar os valores de Kc. Teixeira et al. (1999), trabalhando com a cultivar Itália (*Vitis vinifera* L.), no Submédio São Francisco, no sistema latada e irrigada por microaspersão, registraram valores de Kc variando entre 0,56 e 1,15. Ávila Neto et al. (2000) registraram, para a mesma cultivar e local, mas empregando irrigação por gotejamento, valores de Kc entre 0,50 e 0,74.

O período do ano também pode influir no consumo hídrico da videira. A cultivar Petit Shirah (*Vitis vinifera* L.), conduzida em espaldeira e irrigada por gotejamento, no Submédio São Francisco, apresentou valores médios de ETc de 3,3mm dia<sup>-1</sup> e, de 3,8 mm dia<sup>-1</sup>, nos períodos de fevereiro a junho e de julho a novembro, respectivamente, com Kc variando entre 0,63 e 0,87 (Teixeira et al., 2007).

A demanda hídrica de cultivares rústicas apresenta comportamento semelhante ao das cultivares de uvas finas (*Vitis vinifera* L.). Conceição & Maia (2001) estimaram a evapotranspiração (ETc) da cultivar Niágara Rosada (*Vitis labrusca*), no noroeste do Estado de São Paulo, conduzida em latada e irrigada por microaspersão. Os valores médios de ETc variaram de 0,7 mm dia<sup>-1</sup> a 4,5 mm dia<sup>-1</sup>, com média igual a 3,1mm dia<sup>-1</sup>. Os valores de Kc variaram entre 0,18 a 1,08 (Figura 3), com um valor médio igual a 0,78.

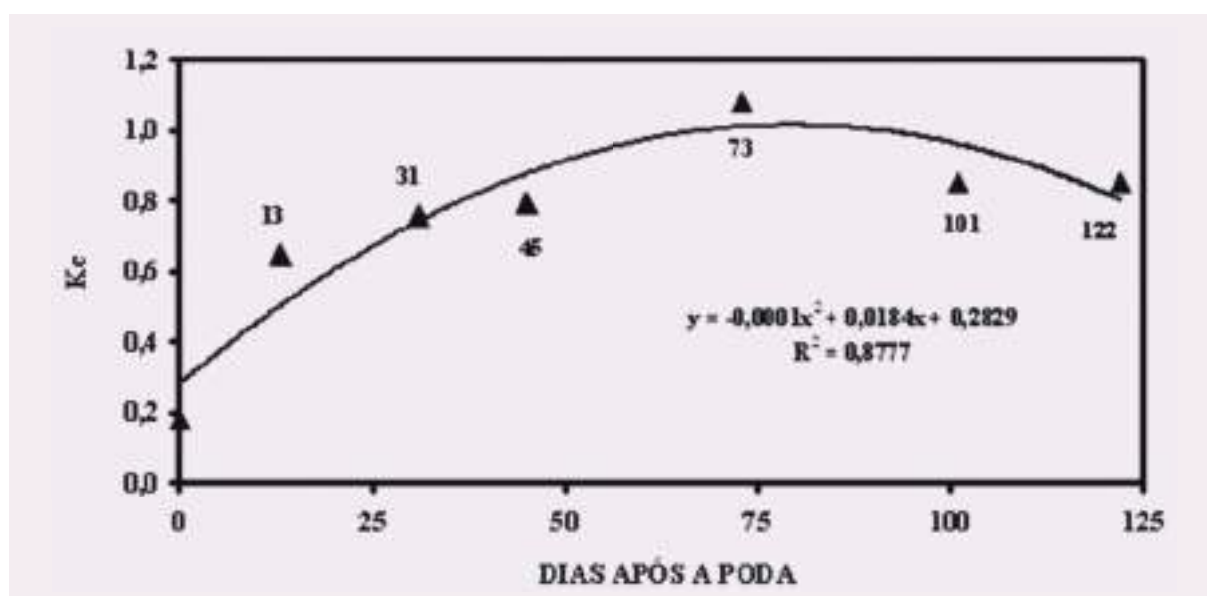


Figura 3. Variação do coeficiente da cultura (Kc) para videira Niágara Rosada cultivada em Jales, SP. (Baseado em Conceição & Maia, 2001).

Em grande parte das áreas tropicais do Brasil, o cultivo da videira é realizado sob irrigação. Em locais onde não se utiliza esta prática, há o risco de ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo da cultura, o mesmo podendo ocorrer nas áreas irrigadas, quando o manejo da água é feito de forma inadequada ou quando se induz um déficit hídrico controlado, em cultivares para vinho, com o objetivo de melhorar a qualidade final do produto. Em regiões semi-áridas, o déficit hídrico é, muitas vezes, induzido após a colheita, visando o repouso vegetativo das plantas (Sentelhas, 1998).

O déficit hídrico, durante o ciclo vegetativo, pode afetar o crescimento das plantas, inclusive em ciclos posteriores. O desenvolvimento dos primórdios florais (fertilidade das gemas) para a safra seguinte é sensível ao estresse hídrico (Williams & Matthews, 1990). O déficit hídrico reduz a área foliar total das plantas e as taxas de fotossíntese e de transpiração. Esta redução ocorre, primeiramente, nas folhas expostas ao sol, sendo que, com a intensificação do estresse, as outras folhas também são afetadas (Escalona et al., 2003). Já o crescimento radial dos ramos é menos sensível ao déficit hídrico, comparativamente ao crescimento axial (Williams & Matthews, 1990).

Conforme aumenta a escassez de água no solo, a velocidade de crescimento diminui, os entrenós se encurtam e a folhagem das pontas se torna verde escuro, como das folhas maduras. Se o déficit hídrico se mantiver, as folhas mais velhas tornam-se amareladas e as margens se dessecam e tendem a enroscar-se. Finalmente, as folhas mais próximas da base dos brotos secam-se e caem (Albuquerque, 1996).

O déficit que ocorre durante as primeiras etapas de desenvolvimento dos frutos é o que mais compromete o rendimento da cultura, uma vez que reduz o tamanho das bagas, sem que elas possam se recuperar com irrigações posteriores (Neuman, 1983; Williams & Matthews, 1990). A falta de água, durante a maturação dos frutos, reduz o tamanho das bagas, enquanto, irrigações ou chuvas excessivas, próximas da colheita, podem atrasar a maturação das uvas e incrementar a compactação dos cachos, favorecendo o ataque de fungos. Chuvas ou irrigações excessivas, após um período de déficit, também podem ocasionar rachaduras nas bagas (Neuman, 1983).

Diferentes cultivares apresentam diferentes respostas ao déficit hídrico. As que melhor se adaptam (isohídricas) buscam manter o potencial hídrico foliar através do fechamento dos estômatos e da redução de sua atividade, conservando a umidade do solo; já as menos adaptadas (anisohídricas) mantêm o consumo de água do solo, reduzindo o seu potencial hídrico foliar, o que pode custar a sua sobrevivência (Schultz, 2000; Lisarrague et al., 2007).

Por outro lado, o desenvolvimento do xilema está relacionado à redução na taxa de transpiração das plantas, sendo que a regulação desse desenvolvimento pode contribuir para a resistência à seca (Lovisolo et al., 2000). O fator médio de resposta da videira, ao déficit hídrico ( $K_y$ ), é igual a 0,85, considerando-se todo o ciclo da cultura (Doorenbos & Kassam, 1979).

## Temperatura

Em geral, as regiões tropicais não apresentam limitações térmicas ao cultivo da videira. As regiões mais próximas ao Equador, entretanto, possivelmente apresentarão problemas com a coloração das bagas, devido à menor amplitude térmica e às temperaturas mínimas, relativamente altas, podendo inibir a formação de pigmentos nos frutos de algumas cultivares (Chadha & Shikhamany, 1999). Por outro lado, nas regiões tropicais mais quentes, reduz-se o risco de ocorrências de temperaturas inferiores a 15°C, que são prejudiciais ao desenvolvimento inicial dos brotos, possibilitando a realização da poda em qualquer mês do ano.

A vegetação da videira inicia-se com temperaturas superiores a 10°C (temperatura basal). A temperatura ótima para o seu desenvolvimento situa-se entre 25°C e 30°C, enquanto valores acima de 45°C são limitantes para o desenvolvimento da planta (Teixeira & Anjos, 2001). Folhas expostas, transpirando ativamente, possuem temperaturas diurnas superiores à temperatura do ar em, até, 5°C, enquanto, à noite, devido à perda de calor por emissão de ondas longas, podem estar, de 1°C a 3°C, abaixo da temperatura do ar (Smart, 1985). A fase mais sensível à temperatura é a floração. Temperaturas relativamente baixas podem afetar a polinização, devido ao retardamento ou inibição da germinação do pólen, podendo prejudicar, também, o crescimento do tubo polínico, inviabilizando a fecundação (Nogueira, 1984). Em temperaturas mais baixas, a atividade dos insetos polinizadores também é menor (Sentelhas, 1998). Por outro lado, temperaturas muito altas, combinadas com baixa umidade relativa do ar, podem produzir stresse hídrico, induzindo à queda das flores pela formação de uma camada de abscisão no pedúnculo (Nogueira, 1984). Temperaturas entre 20°C e 26°C são ideais para a polinização e fecundação (Kishino & Caramori, 2007).

Temperaturas ao redor de 27°C são propícias para o amadurecimento dos frutos (Kishino & Caramori, 2007). A ocorrência de temperaturas baixas, durante a maturação, mantém a acidez elevada e uma redução no teor de açúcar, enquanto temperaturas acima de 36°C, podem contribuir para a queima das bagas (Nogueira, 1984). Na ausência de precipitações excessivas e dentro dos limites críticos, quanto maior a temperatura, maior será a concentração de açúcares e menor a de ácidos (Teixeira & Anjos, 2001). A coloração da casca de uvas de mesa depende, principalmente, da amplitude térmica diária. Normalmente, quanto maior a amplitude melhor será a coloração da casca, em particular quando as temperaturas mínimas são mais baixas.

O método que tem sido mais empregado, para acompanhar a fenologia da cultura, é o acúmulo térmico em graus-dia (GD). Leão & Silva (2003) avaliaram o requerimento térmico de diferentes cultivares de uvas sem sementes na região do submédio São Francisco, encontrando valores entre 1315 GD e 1514 GD, para o ciclo total da cultura. Pedro Júnior et al. (1994) determinaram,

em Jundiá, SP, um valor igual a 1549 GD para o ciclo da cultivar Niágara Rosada (*Vitis labrusca*), valor semelhante ao observado em Jales, noroeste de São Paulo, por Conceição & Maia (2001). Murakami et al. (2002) encontraram, para a cv. Itália (*Vitis vinifera* L.), na região norte do Rio de Janeiro, valores entre 1564 GD e 1840 GD, conforme a época de poda, valor semelhante ao encontrado na região noroeste de São Paulo (Terra et al., 1993). No norte do Paraná, Roberto et al. (2004) registraram um valor de 1238 GD, para a cv. Isabel (*Vitis labrusca*).

### 2.3 Radiação Solar

O fator que mais contribui para a fertilidade das gemas é a insolação. Quando a diferenciação das gemas ocorre em um período de alta nebulosidade, há uma tendência de redução do número de cachos por planta. Esta tendência varia com a cultivar. A radiação solar é fundamental para a produção de açúcar, por meio da fotossíntese. O número de horas de brilho solar (insolação) exigido pela videira varia, normalmente, entre 1200 e 1400 horas, condições plenamente atendidas em regiões tropicais (Sentelhas, 1998).

A incidência de radiação solar diretamente nos cachos permite que as bagas se tornem mais coloridas e espessas, muito embora o excesso de radiação solar, na fase de pré-amolecimento das bagas, possa causar um distúrbio fisiológico conhecido como “golpe de sol” (Kishino & Caramori, 2007).

O dossel apresenta, muitas vezes, várias camadas de folhas, sendo que uma única folha pode absorver de 90% a 95% da radiação incidente, fotossinteticamente ativa (RFA). O nível de intensidade de luz que alcança a camada mais externa é superior, entretanto, ao ponto de saturação, que varia de 150 a 200 W m<sup>-2</sup> de RFA. Por outro lado, a intensidade que alcançará a terceira camada estará, provavelmente, próxima ao ponto de compensação, que ocorre para valores de 2,0 a 5,0 W m<sup>-2</sup> de RFA (Kliwer, 1990). Já a taxa máxima de fotossíntese da videira pode alcançar valores entre 0,80 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> a 0,90 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, sendo que, na região do Submédio São Francisco, foi registrada uma taxa de, aproximadamente, 0,65 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, em plantas irrigadas (Assis & Lima Filho, 2000).

A radiação fotossinteticamente ativa transmitida através do dossel vegetativo, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da videira, foi determinada por Teixeira & Lima Filho (1997) na cultivar Itália (*Vitis vinifera* L.), em Petrolina (PE). Observou-se que, no início do ciclo, para um índice de área foliar (IAF) igual a 0,15, a relação entre a radiação transmitida (Rt) e a incidente (Ri), acima do dossel, foi de 87%. Quando o IAF atingiu 1,3, a relação atingiu um valor mínimo, igual a 34%. Estabeleceu-se uma relação linear entre a IAF e a razão Rt/Ri, em que  $Rt/Ri = - 0,41 \cdot IAF + 0,93$ .

### 2.4 Fotoperíodo

O fotoperíodo afeta a dormência das plantas, sendo a redução do número de horas de luz diária um dos fatores que podem desencadear este processo (Vieira et al., 1999). A redução do fotoperíodo diário pode afetar, também, o desenvolvimento dos ramos após a brotação, principalmente quando a poda é realizada no início do outono, como ocorre, muitas vezes, em algumas regiões tropicais, a exemplo do noroeste paulista (Botelho et al., 2002).

### 2.5 Vento

Independentemente do escoamento local, a velocidade do vento não é uniforme em todo o vinhedo, sendo maior nas extremidades e reduzida no centro, onde já foram medidos valores menores que 20% da velocidade acima da copa (Smart, 1985). O vento prejudica, principalmente, os brotos mais novos, arrancando-os da planta ou lesionando os tecidos vegetais (Pedro Júnior et al., 1998). Durante a floração, ventos secos podem provocar a evaporação do fluido estigmático e a perda do pólen (Nogueira, 1984). A incidência de ventos frios, no início do desenvolvimento dos

ramos, aliados à alta umidade relativa do ar, pode favorecer a incidência de doenças fúngicas nos brotos e cachos (Kishino & Caramori, 2007).

Muito embora ventos fortes prejudiquem as plantas de forma mais acentuada, ventos moderados também podem afetar o crescimento e a produtividade da cultura (Dry et al., 1989). Os principais danos mecânicos provocadas pelos ventos incluem a quebra de brotos, o corte de folhas, a ocorrência de lesões nos ramos e frutos e a queda de flores e bagas.

Além dos danos mecânicos, os ventos podem afetar a transpiração da cultura e o florescimento, embora uma brisa ligeira possa ser favorável à disseminação do pólen. Ventos fracos ajudam, também, a secar a folhagem das plantas, reduzindo o período de molhamento foliar e, conseqüentemente, o risco de incidência de doenças fúngicas (Kishino & Caramori, 2007).

O uso de quebra-ventos, em regiões com alta incidência de ventos, pode ser benéfico à cultura. Pedro Júnior et al. (1998) observaram uma tendência de aumento da produção da cv. Niágara Rosada (*Vitis labrusca*), de 15% a 29%, para reduções da velocidade do vento entre 28% e 49%, respectivamente, com o uso de quebra-ventos. Na área sem quebra-ventos, a velocidade média diária foi de  $1,4\text{ m s}^{-1}$ , chegando a um valor máximo de  $4,3\text{ m s}^{-1}$ , enquanto, na área protegida, a velocidade média diária variou de  $0,7\text{ m s}^{-1}$  a  $1,0\text{ m s}^{-1}$ , atingindo um máximo de  $2,7\text{ m s}^{-1}$ .

### 3. EVENTOS ADVERSOS

#### 3.1 Granizo e chuva intensa

O granizo, pelo impacto das pedras, pode causar lesões nos órgãos da videira (ramos, folhas e cachos) e, dependendo da gravidade dos danos, pode comprometer uma ou mais safras, por esgotamento das reservas ou por infecção por fungos, que penetram pelos ferimentos (Kishino & Caramori, 2007). O efeito depende da intensidade do granizo e do período vegetativo da planta. Uma videira muito danificada pode, inclusive, não se recuperar mais (Kishino & Caramori, 2007).

Algumas regiões, como o norte do Paraná e o noroeste de São Paulo, empregam coberturas com telas de polietileno, que têm como função, entre outras, a de proteger as plantas contra a ocorrência de granizo.

Chuvas intensas também podem ser prejudiciais às plantas, especialmente no período de floração e no começo do desenvolvimento dos cachos, pela possibilidade de queda de pólen, de flores e de frutos. Este tipo de chuva, principalmente se acompanhada de ventos fortes, pode danificar ramos e cachos, prejudicando o desenvolvimento e a produção da cultura. Em solos de baixa permeabilidade, a ocorrência de precipitações elevadas, em curto intervalo de tempo, pode provocar a saturação do solo, afetando as raízes e as plantas.

#### 3.2 Seca fora de época e Veranico

A falta de chuvas pode prejudicar o desenvolvimento da cultura e, em situações mais graves, impedir a produção. O primeiro sintoma de déficit hídrico é o murchamento das folhas e gavinhas mais novas, podendo, posteriormente, surgir áreas necrosadas, principalmente nas folhas basais (Assis & Lima Filho, 2000). Se o estresse hídrico for intenso e prolongado, todas as folhas tendem a murchar e cair, com prejuízo irreversível ao produtor.

Em regiões tropicais, onde são registrados períodos de déficit hídrico durante o ano, como o noroeste paulista, o norte de Minas Gerais e o Vale do São Francisco, a irrigação é normalmente empregada nas áreas vitícolas. Por esta razão, a ocorrência de veranicos nessas regiões não afeta, geralmente, a cultura.

Em outras regiões, entretanto, como o norte do Paraná, onde a maioria dos vinhedos não são irrigados, tem havido perdas de produtividade e de qualidade das safras em anos de veranicos. Este, aliás, é o principal fator que tem levado alguns produtores da região a instalarem sistemas de irrigação em suas propriedades.

A Classificação Climática Multicritérios Geovítica (Tonietto & Carbonneau, 2004) tem como parâmetro, dentre outros, o índice de seca (IS), calculado a partir do balanço hídrico realizado durante o ciclo da cultura. De acordo com tal índice, valores entre 50mm e -100mm representam condições de seca moderada, que são favoráveis à maturação das uvas, principalmente as destinadas à elaboração de vinhos finos. Por outro lado, as áreas em que os valores de IS são inferiores a -100mm apresentam seca forte, que pode reduzir a produção e a qualidade dos frutos. Nesta condição, a irrigação pode ser recomendável e, se o IS for inferior a -200mm, então a irrigação se torna obrigatória (Tonietto & Carbonneau, 2004).

### 3.3 Vento intenso

Os ventos mais intensos danificam os brotos e os tecidos vegetais. Velocidades de vento superiores a  $3 \text{ m s}^{-1}$  já inibem as funções fisiológicas da videira, por meio do fechamento de estômatos e da redução da transpiração (Pedro Júnior et al., 1998). A ocorrência de ventos de maior intensidade é mais prejudicial nas fases iniciais de desenvolvimento dos brotos e frutos, que podem ser derrubados, afetando diretamente a produção. A perda de folhas rasgadas, parcial ou totalmente, prejudica a fotossíntese e, conseqüentemente, o desempenho da cultura. Durante a frutificação, os ventos fortes podem provocar lesões nos frutos, pelo atrito com os ramos, reduzindo a qualidade final das uvas.

Ventos intensos também podem danificar ou, até mesmo, derrubar a estrutura do vinhedo (Kishino & Caramori, 2007). Em algumas regiões, as parreiras são cobertas com plásticos, para proteção contra a chuva, ou com telas, para a proteção contra granizo e o ataque de pássaros e morcegos. Nessas áreas, os ventos fortes podem rasgar ou arrancar, totalmente, a cobertura da parreira.

### 3.4 Geadas

Durante o período de repouso, a videira pode resistir a temperaturas negativas, na faixa de  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ou mais, como no caso das uvas americanas. Mas durante o período vegetativo, as plantas podem ser afetadas pela ocorrência de baixas temperaturas ou geadas. A chegada de massas de ar frio pode atrasar a brotação ou o desenvolvimento inicial do broto, podendo, também, provocar a transformação da inflorescência em gavinha (Kishino & Caramori, 2007).

As geadas podem causar sérios danos, sobretudo quando ocorrem durante o período de desenvolvimento da videira, uma vez que, ramos novos, não amadurecidos, apresentam menor resistência à sua ocorrência (Nogueira, 1984). Normalmente, as geadas tardias, do final do inverno ou início da primavera, são as mais prejudiciais, pois “queimam” a vegetação, podendo comprometer, total ou parcialmente, a produção de uvas de uma safra, afetando, inclusive, a safra seguinte.

Em regiões tropicais, a incidência de geadas é menos freqüente, sendo que, em locais de menor latitude, simplesmente não ocorrem. Na região norte do Paraná, é comum a sua ocorrência, principalmente em áreas mais suscetíveis, como baixadas, por exemplo. No noroeste paulista, a ocorrência de geadas é rara, muito embora existam registros do fenômeno. Nessas regiões, embora não destruam as plantas, a ocorrência de geadas obriga à realização de uma nova poda, alterando a programação da colheita (Sentelhas, 1998).

### 3.5 Chuva Excessiva ou excesso hídrico prolongado

A videira é sensível ao encharcamento dos solos, provocado pelo excesso de chuvas e, ou, pela elevação do nível do lençol freático. Tal encharcamento afeta o desenvolvimento das raízes e a produção de uvas, sendo que, áreas onde ocorre por tempo prolongado, não são recomendadas para a implantação da cultura. Quando não se dispõe, entretanto, de áreas mais adequadas e onde os solos são rasos e, ou, de baixa permeabilidade, devem-se utilizar sistemas de drenagem.

Para efeitos de zoneamento vitícola, considera-se que, regiões, cujo índice de seca (IS), referente à Classificação Climática Multicritérios Geovítica, apresentam valores superiores a 150mm, têm uma

tendência ao excesso de chuvas (Tonietto & Carbonneau, 2004).

O principal indicador da ocorrência de excesso de água no solo é o crescimento vegetativo exagerado, em detrimento da parte reprodutiva da planta, fazendo com que os ramos apresentem entrenós mais longos e folhas maiores (Lisarrague et al, 2007). Quando este excesso coincide com temperaturas mais elevadas, pode ocorrer aborto das inflorescências, que são transformadas em gavinhas, processo que é conhecido por “filagem” (Lisarrague et al., 2007).

A ocorrência de chuvas excessivas, durante o período de floração, pode prejudicar, também, o processo de polinização, pela diluição do fluido estigmático ou pela lavagem dos grânulos de pólen (Nogueira, 1984). O excesso de chuvas provoca, em algumas cultivares, a rachadura das bagas, o que deteriora a qualidade do produto e facilita o desenvolvimento de podridões nos cachos. Além disso, aumenta o risco de incidência de várias doenças na videira, especialmente o míldio (*Plasmopara viticola*), que é a principal doença fúngica da cultura, em regiões tropicais (Naves et al., 2006).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As regiões tropicais do Brasil não apresentam limitações climáticas para o cultivo da videira. A principal restrição encontrada, para a expansão da viticultura, nessas regiões, tem sido a alta incidência de doenças fúngicas devido, principalmente, à ocorrência simultânea de chuvas (ou orvalho) e altas temperaturas, durante o ciclo da cultura. A necessidade de controle intensivo dessas doenças aumenta os custos de produção e os riscos econômicos e ambientais. Assim, estratégias, como o uso de cobertura plástica, e o desenvolvimento de cultivares mais resistentes, devem ser incrementadas, visando tornar a atividade mais sustentável, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, T. C. S. **Uva para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1996. 53 p. (Série publicações técnicas FRUPEX, 25).

ALLEN R. G. et al. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO irrigation and drainage paper, 56).

ASSIS, J. S.; LIMA FILHO, J. M. P. Aspectos fisiológicos da videira irrigada. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Ed.). **A viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000, p.129-145.

ÁVILA NETTO, J. et al. Exigências hídricas da videira na região do submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 8, p. 1559-1566, 2000.

BASSOI, L. H. et al. Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 377-387, 2003.

BASSOI, L. H.; MIRANDA, A. A. Análise da distribuição radicular de videiras irrigadas em latossolo vermelho-amarelo de Petrolina, PE. I-Massa seca de raízes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBEA:UFPB, 1997. CD-ROM.

BOTELHO, R. V.; PIRES, E. J. P.; TERRA, M.M. Brotação e produtividade de videiras da cultivar Centennial Seedless (*Vitis vinifera* L.) tratadas com cianamida hidrogenada na região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 24, n. 3, p. 1-12, 2002.

CAMARGO, U. A.; PROTAS, J. F. S.; MELLO, L. M. R. Grape growing and processing in Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 785, p. 51-57, 2008.

CHADHA, K. L.; SHIKHAMANY, S. D. **The grape**: improvement, production and post-harvest management. New Delhi: Mahlotra Publishing House, 1999. 579 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MAIA, J. D. G. Coeficiente da cultura (Kc) para a videira Niágara Rosada em Jales, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBA: FUNCEME, 2001. v. 2, p. 411-412.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Irrigação da cultura da videira. In: BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. de S. (Ed.). **Cultura de uvas de mesa**: do plantio à comercialização. Ilha Solteira: UNESP/FAPESP, 2001. p.177-200.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MARIN, F. R. Efeito da cobertura de tela e do dossel da cultura na radiação solar incidente em videiras. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 10., 2005, Bento Gonçalves. **Anais...**Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. p. 251.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (FAO irrigation and drainage paper, 33).

DRAGONI, D. et al. Transpiration of grapevines in the humid Northeastern United States. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 57, n. 4, p. 460-467, 2006.

DRY, P. R.; REED, S.; POTTER, G. The effect of wind on the performance of Cabernet Franc grapevines. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 240, p. 143-146, 1989.

ESCALONA, J. M. et al. Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. **Vitis, Berichte uber rebenforschung**, Siebeldingen, v. 42, n. 2, p. 57-64, 2003.

KISHINO, A. Y.; CARAMORI, P. H. Fatores climáticos e o desenvolvimento da videira. In: KISHINO, A. Y.; CARVALHO, S. L. C. de; ROBERTO, S. R. (Ed.). **Viticultura tropical**: o sistema de produção do Paraná. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2007. p. 59-86

KLIEWER, W. M. **Fisiologia da videira**: como produz açúcar uma videira? Campinas: Instituto Agrônomo, 1990. 20 p.



KUHN, G. B. et al. **O cultivo da videira: informações básicas.** Bento Gonçalves: Embrapa-CNPUV, 1996, 60 p. (Embrapa-CNPUV. Circular técnica, 10).

LEÃO, P. C. de S.; SILVA, E. E. G. Caracterização fenológica e requerimentos térmicos de variedades de uvas sem sementes no vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 25, n. 3, p. 379-382, 2003.

LISARRAGUE, J. R. et al. Estratégias de gestión del riego en viñedos de vinificación. In: TRUJILLO, P. B.; LISARRAGUE, J. .; MIGUEL, P. S.(Ed.). **Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid.** Madrid: Editora Agrícola Española, 2007. p. 47-82.

LORENZ, D. H. et al. Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*): Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v. 1, p. 100-103, 1995.

LOVISOLO, C. et al. Sap flow and stem conductivity of potted water stressed grapevines. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 526, p. 187-191, 2000.

MELLO, L. M. R. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2007.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2008. Disponível em: <[http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007\\_vitivinicultura.pdf](http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007_vitivinicultura.pdf)>. Acesso em: 27 jul. 2008.

MULLINS, M. G.; BOUQUET, A. WILLIAMS, L. E. **Biology of the grapevine.** Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 239 p.

MURAKAMI, K. R. N. et al. Caracterização fenológica da videira cv. Itália (*Vitis vinifera* L.) sob diferentes épocas de poda na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 24, n. 3, p. 615-617, 2003.

NASCIMENTO, N. V. et al. Distribuição radicular de porta-enxertos de videira de vinho irrigada por gotejamento em Petrolina-PE, utilizando imagens digitais. IN: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **Anais...** Viçosa, MG: Contexto/CENTEV/UFV, 2006. 6 p. CD-ROM.

NAVES, R. de L.; GARRIDO, L. da R.; SÔNEGO, O. R. **Controle de doenças fúngicas em uvas de mesa na região noroeste do Estado de São Paulo.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2006. 8 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular técnica, 65).

NEUMAN, J. A. Riego. In: UVAS. Caracas: Fusagri, 1983. p. 31-37.

NOGUEIRA, D. J. P. O clima na viticultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 117, p. 11-21, 1984.

OJEDA, H.; DELOIRE, A.; CARBONNEAU, A. Influence of water deficits on grape berry growth. **Vitis, Berichte über rebenforschung**, Siebeldingen, v. 40, n. 3, p. 141-145, 2001.

PATAKAS, A.; NOITSAKIS, B.; CHARTZOULAKIS, K. Changes in w. u. e. in *Vitis vinifera* L as affected by leaf age. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 449, p. 457-460, 1997.

PEDRO JÚNIOR, M. J. et al. Determinação da temperatura-base, graus-dia e índice biometeorológico para a videira 'Niagara Rosada'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 51-56, 1994.

PEDRO JÚNIOR, M. J. et al. Efeito do uso de quebra-ventos na produtividade da videira 'Niagara Rosada'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 75-79, 1998.

PEREIRA, L. S. Novas aproximações aos coeficientes culturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBEA: UFPB. 1997.

PIRES, R. C. de M. et al. Distribuição e profundidade do sistema radicular da videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBEA/UFPB. 1997. CD-ROM.

RANA, G. et al. Microclimate and plant water relationship of the "overhead" table grape vineyard managed with three different covering techniques. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 102, p. 105-120, 2004.

ROBERTO, S. R. et al. Fenologia e soma térmica (graus-dia) para a videira 'Isabel' (*Vitis labrusca*) cultivada no noroeste do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 273-280, 2004.

SANTOS, R. A. et al. Comportamento do sistema radicular da videira (*Vitis vinifera* L.), variedade Benitaka, frente ao manejo da irrigação por aspersão sob copa. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA/UFBA/ Embrapa, 2002. CD-ROM.

SCHULTZ, H. R. Physiological mechanisms of water use efficiency in grapevines under drought conditions. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 526, p.115-136, 2000.

SENTELHAS, P. C. Aspectos climáticos para a viticultura tropical. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 194, p. 9-14, 1998.

SILVA, F. C. C. et al. Caracterização química e determinação dos estádios fenológicos de variedades de videiras cultivadas no norte Fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 30, n. 1, p. 38-42, 2008.

SMART, R. E. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implication for yield and quality. A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 36, n. 3, p. 230-239, 1985.

TEIXEIRA, A. H. de C. et al. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 413-416, 1999.

TEIXEIRA, A. H. de C.; ANJOS, J. B. Clima e solo. In: LEÃO, P. C. de S. (Ed.). **Uva de mesa: produção.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 20-25.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 94, p. 31-42, 2007.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LIMA FILHO, J. M. P. Relações entre o índice de área foliar e radiação solar na cultura da videira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 143-146, 1997.

TERRA, M. M.; PIRES, E. J. P.; NOGUEIRA, N. A. M. **Tecnologia para produção de uva Itália na região noroeste do Estado de São Paulo.** Campinas: CATI, 1993. 51 p. (Documento técnico, 97).

TERRA, M. M. Nutrição e adubação da videira. In: BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. de S. (Ed.). **Cultura de uvas de mesa: do plantio à comercialização.** Ilha Solteira: UNESP/FAPESP, 2000. p.149-176.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 124, p. 81-97, 2004.

VAN ZYL, J. L. Diurnal variation in grapevine water stress as a function of changing soil water status and meteorological conditions. **South African Journal of Enology and Viticulture**, Dennesig, v. 8, n. 2, p. 45-52, 1987.

VAN ZYL, J. L.; HUYSSTEEN, L. V. Comparative studies on wine grapes on different trellising systems: I. Consumptive water use. **South African Journal of Enology and Viticulture**, Dennesig, v. 1, n. 1, p. 7-14, 1980.

VIEIRA, A. J. D. et al. Crescimento de ramos de *Vitis vinifera* L. cv. **Thompson Seedless em Jales, São Paulo.** **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 45-52, 1999.

WILLIAMS, L. E.; MATTHEWS, M. A. Grapevine. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops.** Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 1020-1055. (Agronomy, n. 30).

YUSTE, J.; RUBIO, J. A.; PÉREZ, M. A. Influence of plant density and water regime on soil water use, water relations and productivity of trellis-trained Tempranillo grapevines. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 646, p. 187-193, 2004.

## Agrometeorologia dos Cultivos

*“A humanidade sempre esteve ameaçada pelo fantasma da fome. Polêmicas à parte, a variabilidade climática é um fato que acompanha a Terra desde sua origem, trazendo consigo desafios crescentes para a produção de alimentos. Neste contexto, este livro chega em momento oportuno, quando a ciência aceita, unanimemente, o desafio de continuar ampliando a produção de alimentos, seja aumentando a produtividade e as áreas de cultivo, seja desenvolvendo novas variedades agrícolas aptas a enfrentar as adversidades do clima, a degradação do ambiente e o aumento da população. Dentre outras áreas científicas, a Agrometeorologia se destaca pela sua contribuição fundamental no enfrentamento deste desafio, permitindo conhecer os impactos do tempo e do clima sobre cada cultura, sendo este o principal objetivo desta obra, denominada Agrometeorologia dos Cultivos. Portanto, este livro que vem a lume cobre uma grande lacuna no Brasil, fornecendo aos professores, pesquisadores, agricultores e planejadores agrícolas uma ferramenta extremamente útil às suas atividades, sendo o resultado da sistematização de conhecimentos científicos de mais de uma centena de especialistas, tornando-se fonte de referência para o conhecimento das necessidades agrometeorológicas de trinta culturas brasileiras, aqui consideradas as mais relevantes no contexto da alimentação e do agronegócio. Merece destaque a iniciativa do Instituto Nacional de Meteorologia, instituição responsável pela publicação desta obra, dentro de um novo paradigma de atuação. Adicionalmente, este livro de referência abre perspectivas para publicações adicionais que venham incorporar outras culturas.”*

**Rubens Leite Vianello**



[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



ISBN 978-85-62817-00-7



9 788562 817007