

Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças

Elizanilda Ramalho do Rêgo
Ana Paula Sato Ferreira
Mailson Monteiro do Rêgo
Fernando Luiz Finger

Organizadores







UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Valdiney Veloso Gouveia
Reitor

Liana Filgueira Albuquerque
Vice-Reitora



Natanael Antônio dos Santos
Diretor Geral da Editora UFPB

Everton Silva do Nascimento
Coordenador do Setor de Administração

Gregório Ataíde Pereira Vasconcelos
Coordenador do Setor de Editoração

CONSELHO EDITORIAL

Cristiano das Neves Almeida (Ciências Exatas e da Natureza)
José Humberto Vilar da Silva (Ciências Agrárias)
Julio Afonso Sá de Pinho Neto (Ciências Sociais e Aplicadas)
Márcio André Veras Machado (Ciências Sociais e Aplicadas)
Maria de Fátima Alcântara Barros (Ciências da Saúde)
Maria Patrícia Lopes Goldfarb (Ciências Humanas)
Elaine Cristina Cintra (Linguística e das Letras)
Regina Celi Mendes Pereira da Silva (Linguística e das Letras)
Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes (Ciências Biológicas)
Raphael Abrahão (Engenharias)

Editora filiada à



Elizanilda Ramalho do Rêgo
Ana Paula Sato Ferreira
Mailson Monteiro do Rêgo
Fernando Luiz Finger
(Organizadores)

FISIOLOGIA E MANEJO PÓS-COLHEITA DE FLORES, FRUTOS E HORTALIÇAS

João Pessoa
Editora UFPB
2023

1ª Edição – 2023

E-book aprovado para publicação – Editora UFPB.

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra, de qualquer forma ou por qualquer meio. A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/1998) é crime estabelecido no artigo 184 do código penal.

O CONTEÚDO DESTA PUBLICAÇÃO, SEU TEOR, SUA REVISÃO E SUA NORMALIZAÇÃO SÃO DE INTEIRA RESPONSABILIDADE DO(S) AUTOR(ES).

Projeto gráfico · **Editora UFPB**
Editoração eletrônica e design de capa · **Rildo Coelho**
Imagem de capa (ilustração digital) · **Michele Holanda**

Catologação na fonte: **Biblioteca Central da Universidade Federal da Paraíba**

F537 Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças [recurso eletrônico] / Elizanilda Ramalho do Rêgo, Ana Paula Sato Ferreira, Mailson Monteiro do Rêgo, Fernando Luiz Finger (organizadores). - Dados eletrônicos. - João Pessoa : Editora UFPB, 2023.

E-book.

Modo de acesso : <http://www.editora.ufpb.br/sistema/press/>

ISBN: 978-65-5942-213-5

1. Fisiologia vegetal. 2. Flores. 3. Frutos. 4. Hortaliças. 5. Botânica. I. Rêgo, Elizanilda Ramalho do. II. Ferreira, Ana Paula Sato. III. Rêgo, Mailson Monteiro do. IV. Finger, Fernando Luiz. V. Título.

UFPB/BC

CDU 1

OS DIREITOS DE PROPRIEDADE DESTA EDIÇÃO SÃO RESERVADOS À:



Cidade Universitária, Campus I – Prédio da Editora Universitária, s/n
João Pessoa – PB CEP 58.051-970

<http://www.editora.ufpb.br> E-mail: editora@ufpb.br Fone: (83) 3216.7147

Ao meu querido pai, Francisco Diniz de Souza (“Seu Dió”, “Ti Chico”, “Seu Diniz” ou Chico Adelino”), pelo exemplo de vida, pela dedicação e amor à nossa família e por sempre acreditar em nós. À minha amada mãe, Geralda Ramalho Diniz, por sua alegria e companheirismo, sempre.

Elizanilda Ramalho do Rêgo

Aos meus familiares, em especial aos meus filhos pelo incentivo, pela dedicação e amor e pelo carinho em todos os momentos.

Ana Paula Sato Ferreira

Dedico a minha esposa Elizanilda, a minha filha Rebeca e ao meu neto Ravi.

Mailson Monteiro do Rêgo

Dedico este livro aos meus estudantes de pós-doutorado, doutorado, mestrado e iniciação científica pela colaboração na obtenção dos resultados de pesquisa do Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Hortícolas.

Fernando Luiz Finger

PREFÁCIO

O objetivo deste livro é levar aos profissionais, professores e estudantes interessados em aprofundar os conhecimentos sobre a fisiologia, avanços e técnicas de conservação de produtos perecíveis de origem vegetal.

O livro foi dividido em capítulos de forma ao leitor se familiarizar com os aspectos fisiológicos que afetam a qualidade e senescência dos tecidos e órgãos das plantas. Desta forma, são apresentados os conceitos básicos do crescimento e desenvolvimento dos frutos carnosos, conceitos de frutos climatéricos e não-climatéricos e o envolvimento do etileno na fisiologia das plantas. Os capítulos seguintes enfocam o papel do etileno e respiração no controle do amadurecimento e a influência na longevidade das plantas ornamentais e vida de prateleira dos frutos e hortaliças.

Nos capítulos posteriores são abordados os aspectos práticos da conservação pós-colheita, explorando o uso de diversas técnicas de conservação. Dentre as técnicas de conservação, são apresentadas técnicas de pré-resfriamento e a implicação do seu uso redução da perda de água e aumento da vida de prateleira.

O controle da perda de água na pós-colheita tem sido foco principal de diversos trabalhos desenvolvidos regiões de clima tropical e subtropical. Nesse livro são apresentadas diversas alternativas para a redução da perda de produto hortícola devido a perda da turgescência dos tecidos. Como técnicas suplementar ao controle

da temperatura de armazenamento, é abordado os efeitos da modificação da atmosfera de armazenamento sobre a fisiologia dos produtos. Finalmente nesse livro foi incorporado um capítulo que trata da deterioração dos produtos hortícolas por doenças adquiridas na fase de produção e pós-colheita, apresentando forma de controle e cuidados no manuseio.

Ao longo dos últimos 25 anos, a Universidade Federal de Viçosa vem desenvolvendo pesquisas que abordam os temas supracitados. Mais recentemente, estudos de pós-produção em pimentas ornamentais também estão sendo realizados em parceria com a Universidade Federal da Paraíba. Diversas dissertações e teses foram orientadas nestes temas, com centenas de trabalhos realizados pelos grupos de pesquisas aqui representados, e, muitos dos dados relatados neste livro são resultados dos trabalhos de pesquisas desenvolvidos nestas duas universidades e também por outras instituições de ensino e de pesquisa do Brasil, com adaptações de metodologia e uso de espécies e variedades cultivadas nas condições de produção brasileiras.

Fernando Luiz Finger
Professor Titular de Pós-Colheita da UFV

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1: FISIOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO DE FRUTOS | 13 |
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. DESENVOLVIMENTO DE FRUTOS CARNOSOS | 15 |
| 3. FISIOLOGIA DO AMADURECIMENTO | 18 |
| 4. FISIOLOGIA DA RESPIRAÇÃO | 26 |
| 5. PAPEL DO ETILENO NA MATUREZAÇÃO DOS FRUTOS | 29 |
| 5.1 NÍVEIS ENDÓGENOS DE ETILENO | 29 |
| 5.2 EFEITO DO ETILENO EXÓGENO | 33 |
| 5.3 PRODUÇÃO AUTOCATALÍTICA DE ETILENO | 35 |
| 6. CONCLUSÕES | 36 |
| 7. REFERÊNCIAS | 37 |
| | |
| CAPÍTULO 2: RESPIRAÇÃO DOS PRODUTOS HORTÍCOLAS | 39 |
| 1. INTRODUÇÃO | 40 |
| 2. SIGNIFICÂNCIA DA RESPIRAÇÃO | 42 |
| 3. DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO | 45 |
| 4. ETAPAS DA RESPIRAÇÃO | 50 |
| 5. FERMENTAÇÃO | 54 |
| 6. CICLO DO ÁCIDO TRICARBOXÍLICO (TCA) | 58 |
| 7. CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS E FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA | 61 |
| 8. REFERÊNCIAS | 64 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 3: ETILENO | 65 |
| 1. INTRODUÇÃO | 66 |
| 2. EFEITOS DO ETILENO | 70 |
| 3. ANÁLOGOS, ABSORVEDORES E LIBERADORES | 81 |
| 4. ROTA BIODISSINTÉTICA | 87 |
| 5. FATORES QUE INTERFEREM NA PRODUÇÃO DE ETILENO | 91 |
| 6. MECANISMO DE AÇÃO | 92 |
| 7. INIBIDORES DA SÍNTESE | 95 |
| 8. INIBIDORES DA AÇÃO | 100 |
| 9. ETILENO E BIOLOGIA MOLECULAR | 110 |
| 10. REFERÊNCIAS | 111 |
| | |
| CAPÍTULO 4: CONTROLE DA PERDA PÓS-COLHEITA DE ÁGUA EM PRODUTOS HORTÍCOLAS | 119 |
| 1. INTRODUÇÃO | 120 |
| 2. NATUREZA E COMPOSIÇÃO DOS PRODUTOS HORTÍCOLAS | 121 |
| 2.1 ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS | 121 |
| 2.2 ESTRUTURAS AÉREAS | 122 |
| 3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA | 124 |
| 4. EFEITOS DA PERDA DE ÁGUA | 126 |
| 4.1 FÍSICOS | 126 |
| 4.2 FISIOLÓGICOS | 126 |
| 5. PERDAS PÓS-COLHEITA | 128 |
| 6. UMIDADE DO AR E TEMPERATURA | 131 |
| 7. PERDA DE ÁGUA | 134 |
| 7.1 RELAÇÃO SUPERFÍCIE/VOLUME | 134 |
| 7.2 NATUREZA DA SUPERFÍCIE PROTETORA | 136 |
| 7.3 CAMADA DE AR LÍMITROFE | 138 |
| 7.4 DANOS MECÂNICOS | 138 |
| 8. MEDIDAS DE CONTROLE DA PERDA DE ÁGUA | 141 |
| 8.1 EMBALAGENS PROTETORAS | 142 |

| | |
|--|------------|
| 8.2 MOVIMENTO DO AR | 145 |
| 8.3 REVESTIMENTO COM CERAS | 146 |
| 8.4 MANEJO DA TEMPERATURA E UMIDADE DO AR | 150 |
| 9. REFERÊNCIAS | 153 |
| CAPÍTULO 5: FISILOGIA PÓS-COLHEITA DE FLORES E PLANTAS ORNAMENTAIS | 156 |
| 1. INTRODUÇÃO | 157 |
| 2. SOLUÇÕES DE 'PULSING' E DE VASO | 158 |
| 3. RELAÇÕES HÍDRICAS | 159 |
| 4. CARBOIDRATOS | 161 |
| 5. AÇÃO DO ETILENO | 165 |
| 6. LONGEVIDADE PÓS-PRODUÇÃO DE PLANTAS ORNAMENTAIS EM VASO | 172 |
| 7. REFERÊNCIAS | 177 |
| CAPÍTULO 6: COLHEITA, PÓS-COLHEITA E PERDAS PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS E FRUTEIRAS TROPICAIS E DE CLIMA TEMPERADO | 182 |
| 1. ÍNDICES DE COLHEITA | 183 |
| 2. LIMPEZA | 191 |
| 3. CLASSIFICAÇÃO | 192 |
| 4. EMBALAGENS | 204 |
| 5. PERDAS PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS E FRUTAS | 215 |
| 6. INJÚRIA MECÂNICA EM HORTALIÇAS E FRUTAS | 217 |
| 7. REFERÊNCIAS | 220 |
| CAPÍTULO 7: TRATAMENTOS PÓS-COLHEITA: PRÉ-RESFRIAMENTO, REHIDRATAÇÃO E REFRIGERAÇÃO | 223 |
| 1. INTRODUÇÃO | 224 |
| 2. PRÉ-RESFRIAMENTO | 226 |
| 3. REIDRATAÇÃO | 235 |
| 4. A CADEIA DO FRIO EM PRODUTOS HORTÍCOLAS | 242 |
| 5. INJÚRIA PELO FRIO | 262 |
| 6. REFERÊNCIAS | 278 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 8: UTILIZAÇÃO DE ATMOSFERA MODIFICADA E CONTROLADA NA CONSERVAÇÃO DE PRODUTOS HORTÍCOLAS | 278 |
| 1. INTRODUÇÃO | 290 |
| 2. CONCEITOS DE ATMOSFERA MODIFICADA E CONTROLADA | 291 |
| 3. PRINCÍPIOS BIOFÍSICOS | 295 |
| 4. EFEITO DO O ₂ E CO ₂ SOBRE A FISIOLOGIA DE FRUTOS E HORTALIÇAS | 296 |
| 5. PRODUÇÃO DE CALOR PELA RESPIRAÇÃO | 300 |
| 6. ATMOSFERA CONTROLADA | 304 |
| 7. ATMOSFERA MODIFICADA | 304 |
| 8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA AM E AC DE ACORDO COM ROMOJARO ET AL. (1996): | 312 |
| 9. DESVANTAGENS | 313 |
| 10. USO DE MONÓXIDO DE CARBONO | 316 |
| 11. REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS | 317 |
| 12. CONCLUSÕES | 322 |
| 13. REFERÊNCIAS | 323 |
| | |
| CAPÍTULO 9: PATOLOGIA PÓS-COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS | 331 |
| 1. INTRODUÇÃO | 332 |
| 2. PODRIDÕES EM PÓS-COLHEITA | 334 |
| 2.1 PODRIDÃO MOLE | 334 |
| 2.2 PODRIDÃO SECA | 336 |
| 2.3 PODRIDÃO ÚMIDA | 338 |
| 2.4 PODRIDÃO AZEDA | 339 |
| 3. INFECÇÃO | 340 |
| 3.1 INFECÇÃO NO CAMPO (INFECÇÃO QUIESCENTE) | 340 |
| 3.2 INFECÇÕES EM PÓS-COLHEITA (INFECÇÃO IMEDIATA) | 341 |
| 4. PRINCIPAIS DOENÇAS EM PÓS-COLHEITA | 341 |
| 4.1 ANTRACNOSE | 341 |
| 4.2 MOFO CINZENTO | 344 |
| 4.3 PODRIDÃO PARDA | 346 |

| | |
|--|-----|
| 4.4 PODRIDÃO MOLE | 347 |
| 4.5 PODRIDÃO AZEDA | 349 |
| 4.6 MOFO PRETO | 351 |
| 4.7 PODRIDÃO NEGRA DA CENOURA | 353 |
| 4.8 PODRIDÃO PEDUNCULAR | 354 |
| 4.9 BOLOR VERDE | 357 |
| 4.10 PODRIDÃO BACTERIANA | 358 |
| 5. MANEJO INTEGRADO DE PODRIDÕES EM PÓS-COLHEITA | 361 |
| 6. AGRADECIMENTOS | 380 |
| 7. REFERÊNCIAS | 381 |

CAPÍTULO 10: PÓS-COLHEITA DO TUBÉRCULO DE BATATA 384

| | |
|---------------------------------|-----|
| 1. INTRODUÇÃO | 385 |
| 2. DESENVOLVIMENTO DO TUBÉRCULO | 386 |
| 3. PERIDERME | 388 |
| 4. DORMÊNCIA | 393 |
| 5. BROTAÇÃO | 395 |
| 6. RESPIRAÇÃO | 398 |
| 7. TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO | 400 |
| 8. DISTÚRBIOS NOS TUBÉRCULOS | 401 |
| 8.1 ESVERDEAMENTO | 401 |
| 8.2 RACHADURA | 403 |
| 8.3 CORAÇÃO OCO | 404 |
| 8.4 CORAÇÃO NEGRO | 405 |
| 8.5 CRESCIMENTO SECUNDÁRIO | 405 |
| 8.6 MANCHA CHOCOLATE | 407 |
| 8.7 LENTICULOSE | 408 |
| 8.8. TUBERIZAÇÃO DIRETA | 408 |
| 8.9. OUTROS | 408 |
| 9. PERDAS PÓS-COLHEITA | 410 |
| 10. REFERÊNCIAS | 414 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 11: COLHEITA, CURA E ARMAZENAMENTO DA CEBOLA | 417 |
| 1. INTRODUÇÃO | 418 |
| 2. MATURAÇÃO E COLHEITA DO BULBO | 420 |
| 3. CURA | 423 |
| 4. RESPIRAÇÃO | 426 |
| 5. DORMÊNCIA | 428 |
| 6. INJÚRIA MECÂNICA | 432 |
| 7. DEFEITOS | 434 |
| 8. CLASSIFICAÇÃO | 436 |
| 9. EMBALAGEM | 438 |
| 10. ARMAZENAMENTO | 439 |
| 11. REFERÊNCIAS | 445 |
| | |
| SOBRE OS(AS) AUTORES(AS) | 450 |



CAPÍTULO 1



FISIOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO DE FRUTOS

*Fernando Luiz Finger
Teresa D. Correia Mendes
Christiane de Fátima Martins França
Fernanda Cristina Silva*

1. INTRODUÇÃO

Frutos são órgãos originados do crescimento determinado das estruturas que formam as flores ou inflorescências. As diferentes fases do desenvolvimento dos frutos são caracterizadas por alterações na estrutura, fisiologia e bioquímica das células, que culminam com o amadurecimento, senescência e finalmente morte dos tecidos. A maturação por sua vez, constitui-se na fase final do amadurecimento, onde há o amaciamento da polpa, alterações na cor, aroma e sabor dos frutos.

Quanto ao comportamento da respiração durante a maturação, os frutos carnosos são classificados em climatéricos e não-climatéricos, os quais têm respostas distintas à ação do hormônio etileno, com profundas consequências sobre a conservação e qualidade de frutos maduros. O manuseio pós-colheita adequado de frutos baseia-se no conhecimento dos mecanismos de controle da respiração e

maturação, uma vez que a conservação é inversamente proporcional à taxa respiratória.

Este capítulo abordará alguns aspectos relacionados com a fisiologia e bioquímica da maturação dos frutos climatéricos e não-climatéricos.

2. DESENVOLVIMENTO DE FRUTOS CARNOSOS

Os diversos órgãos que compõem as plantas passam por fases distintas de crescimento ao longo do desenvolvimento, porém a fase final é caracterizada pela senescência e finalmente morte dos tecidos. O desenvolvimento da planta ou órgão é decorrente da combinação de crescimento e diferenciação dos tecidos.

Coombe (1976) classificou os frutos carnosos, de acordo com os padrões de crescimento, em sigmoidal simples, dupla e tripla, baseando-se no aumento da matéria fresca, seca, volume ou tamanho, conforme segue:

Sigmoidal simples - padrão caracterizado por uma fase inicial estacionária, seguida de período de crescimento exponencial, finalizando com nova fase estacionária no crescimento. Exemplos de frutos que apresentam sigmóide simples são: a maçã, pera, tomate, abacaxi, banana, abacate, morango e melão.

Sigmoidal dupla - frutos apresentam duas fases de crescimento exponencial, separadas por dois períodos estacionários no crescimento. Exemplo: pêssego, nectarina, ameixa, figo, uvas e oliva.

Sigmoidal tripla - frutos com padrão de crescimento triplo apresentam três períodos de crescimento exponencial e estacionários. Este padrão de crescimento é observado em frutos de kiwi (*Actinidia chinensis*).

O padrão geral de desenvolvimento de um fruto carnoso, com padrão de crescimento em dupla sigmóide, pode ser exemplificado pelas alterações no acúmulo e taxa de crescimento, conforme mostra a Figura 1.

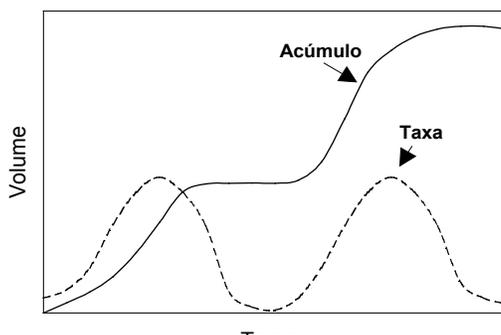


Figura 1 - Curva dupla sigmóide de crescimento do volume do fruto ao longo do tempo expressa com base no acúmulo e taxa (Adaptado de Coombe, 1976).

Em frutos com sigmóide dupla, a primeira e segunda fase de rápido crescimento são denominadas Estádios I e III, os quais são separados por uma fase de crescimento lento denominada de Estádio II. A separação do crescimento dos frutos nos referidos estádios baseia-se nas alterações da taxa de crescimento, onde ocorrem períodos de aceleração, desaceleração e ausência de acúmulo de matéria fresca ou seca durante o desenvolvimento do fruto (Figura 1).

O intervalo de tempo para completo desenvolvimento de um fruto pode variar de cerca de três semanas para o morango até cerca de 60 semanas para laranja Valência. O aumento do volume ou matéria fresca total dos frutos entre a antese até o final do crescimento varia entre 40 vezes para algumas variedades de abóboras até cerca 300.000 vezes para o fruto de abacate (Coombe, 1976).

As relações de crescimento do fruto inteiro e das diferentes partes que compõem o maracujá amarelo foram estudadas da abertura da flor até a abscisão (Figura 2). O fruto tem crescimento do tipo sigmóide simples, caracterizado por acentuado crescimento após cinco dias da antese. A partir de 35 dias há drástica redução na taxa de acúmulo de matéria fresca do fruto inteiro, com ausência de crescimento após 60 dias da antese (Figura 2). Dos 21 dias até cerca de 80 dias após antese, a casca apresenta redução do peso da matéria fresca. Por outro lado, no período de 21 a cerca de 60 dias após antese, há acúmulo de matéria fresca da polpa. Estes resultados mostram que a casca é o dreno principal até 21 dias após a antese, enquanto que a polpa inicia o acúmulo de reservas após o final do crescimento da casca (Figura 2).

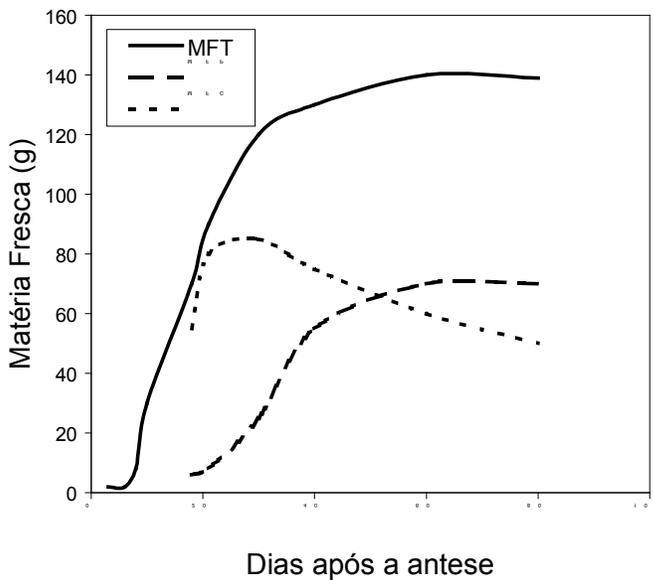


Figura 2 - Alterações da matéria fresca total (MFT), da polpa (MFP) e da casca (MFC) durante o desenvolvimento do maracujá amarelo (Adaptado de Pocassangre Enamorado et al., 1995).

3. FISILOGIA DO AMADURECIMENTO

As relações entre diferentes fases do desenvolvimento e o comportamento da respiração em frutos carnosos são mostradas na Figura 3.

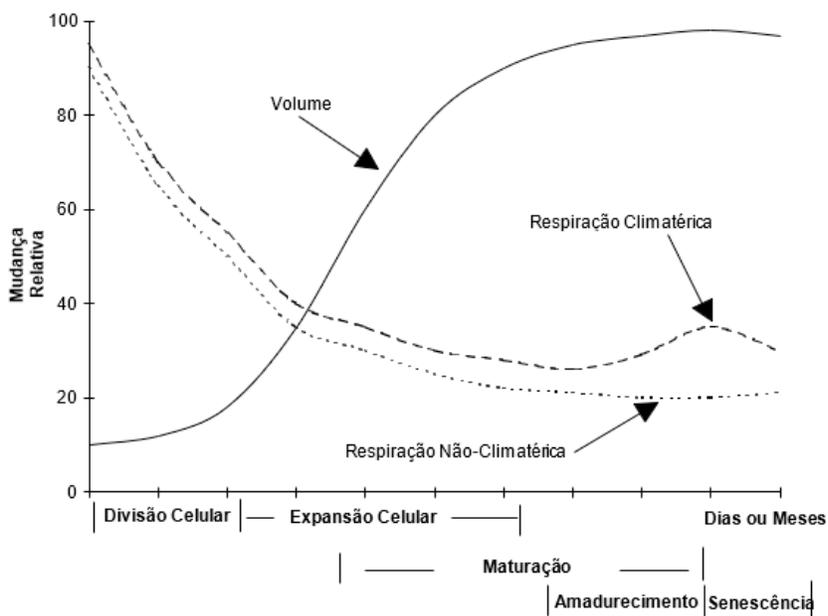


Figura 3 - Padrão de crescimento e respiração durante o desenvolvimento de frutos carnosos (Adaptado de Wills et al., 1981).

A maturação pode ser definida como o estágio do desenvolvimento do fruto que se inicia ao final do crescimento e a partir da qual este está apto a amadurecer na planta ou quando colhido. A maioria dos frutos carnosos apresenta uma fase de crescimento inicial caracterizada por intensa divisão celular, a qual se limita aos primeiros dias ou meses do desenvolvimento do fruto. A fase de divisão celular é seguida por um período de expansão celular, onde há aumento do tamanho das células devido ao acúmulo de água

e solutos. A fase final da maturação, denominada de amadurecimento, pode ser definida como o estágio no qual ocorrem várias alterações bioquímicas e fisiológicas, caracterizada pela passagem do fruto do estágio verde-maduro para maduro comestível (Figura 4). O amadurecimento pode ser também identificado como o início do fim da vida do fruto, uma vez que a intensificação das reações de natureza predominantemente catabólicas levam à senescência e finalmente à morte dos tecidos.



Figura 4 - Estádios de amadurecimento em tomate. 1. frutos verde-maduros. 2. menos de 10% da superfície de cor rosa. 3. 11 – 40% da superfície de cor rosa. 4. 41 – 80% da superfície de cor rosa. 5. mais de 80% da superfície de cor rosa. 6 = frutos vermelhos

Kader (1980) listou algumas das transformações que ocorrem durante o processo de amadurecimento dos frutos:

1. Amadurecimento das sementes.
2. Alterações de cor:
 - a. Destruição da clorofila.

- b. Revelação dos pigmentos carotenóides (cores laranja e amarela).
 - c. Síntese de pigmentos carotenóides (cor vermelha em tomate).
 - d. Síntese de antocianinas (cores vermelha e azul).
- 3. Abscisão.
- 4. Alterações na taxa respiratória:
 - a. Para satisfazer as novas necessidades de energia.
 - b. Reflete a taxa de deterioração dos sistemas de controle da senescência.
- 5. Alterações na produção de etileno:
 - a. Induzir o início da maturação.
 - b. Excesso de produção de etileno com fenômeno da senescência.
- 6. Alterações na permeabilidade dos tecidos.
- 7. Amolecimento - mudanças na composição da pectina.
- 8. Alteração na composição dos carboidratos.
 - a. Degradação do amido em açúcar.
 - b. Interconversão de açúcares.
- 9. Mudança no padrão protéico.
 - a. Quantitativo.
 - b. Qualitativo - síntese de enzimas e alteração no padrão de DNA e RNA mensageiro.
- 10. Produção de compostos voláteis.
- 11. Síntese de ceras na casca.

12. Alterações nos ácidos orgânicos:

- a. Mudanças na quantidade absoluta.
- b. Mudanças na composição relativas ao aroma e gosto.

A maioria das transformações bioquímicas do amadurecimento ocorre simultaneamente e são inter-relacionadas, porém muitas das alterações estão sobre o controle de diferentes genes, os quais são expressos preferencialmente no amadurecimento e senescência dos frutos. Além disso, há reações de natureza catabólica, como degradação de clorofila e amido, e de natureza anabólica como a síntese de pigmentos carotenóides e compostos voláteis. Em maçãs, por exemplo, diversas enzimas têm a atividade aumentada com o início da maturação, como a poligalacturonase, α -amilase e clorofilase, responsáveis pela degradação da pectina, amido e clorofila, respectivamente (Abeles et al., 1992). No jiló, as reações de amadurecimento provocam alterações na cor, transformando a coloração verde intenso para vermelho (Figura 5).

Em banana, o amadurecimento dos frutos é marcado por acentuadas alterações na composição dos carboidratos (Tabela 1). Ao iniciar o amadurecimento ocorre degradação do amido armazenado na polpa, com paralela elevação do conteúdo de açúcares solúveis totais. No estágio de fruto pós-climatério (casca amarela com manchas marrom) cerca de 92,5% do amido é transformado em açúcar solúvel, tornando a polpa adocicada e macia.

O'Hare (1995) listou algumas das transformações bioquímicas que ocorrem na manga durante o fenômeno de amadurecimento

(Figura 6). O início do amadurecimento em manga é caracterizado por intensa degradação de clorofila da casca e síntese de pigmentos carotenóides, responsáveis pela cor amarela da polpa. Simultaneamente a polpa apresenta aumentos na concentração de sólidos solúveis totais e redução acentuada da acidez titulável.



Figura 5 - Alterações visuais no amadurecimento de frutos de jiló, alterando da cor verde intenso para vermelho.

Tabela 1 - Alterações da composição dos carboidratos em frutos de banana durante o amadurecimento.

| Maturidade (cor da casca) | Porcentagem | |
|--|-------------|-------------------|
| | Amido | Açúcares solúveis |
| Verde | 20,0 | 0,5 |
| Verde com traços de cor amarela | 18,0 | 2,5 |
| Casca mais verde que amarela | 16,0 | 4,5 |
| Casca mais amarela que verde | 16,0 | 4,5 |
| Casca amarela com extremidades do fruto verde | 7,0 | 13,5 |
| Casca completamente amarela | 2,5 | 18,0 |
| Casca amarela com pequenas manchas de cor marrom | 1,5 | 19,0 |

Adaptado de Salunkhe & Desai (1984).

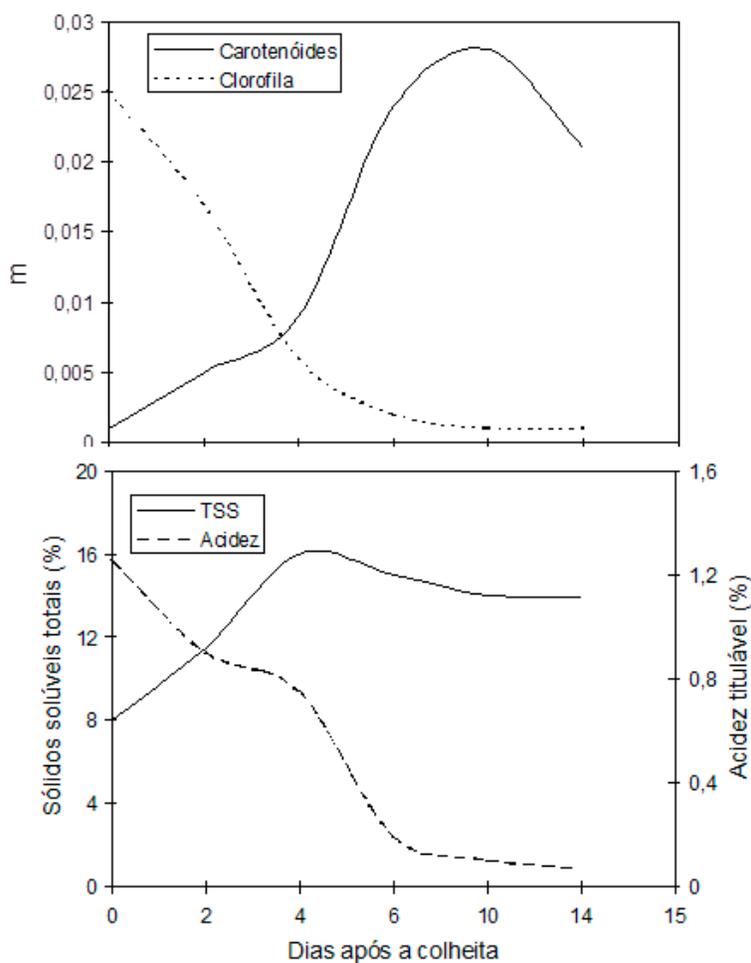


Figura 6 - Alterações nos teores de clorofila e carotenóides (figura acima), e sólidos solúveis totais e acidez (figura abaixo) em frutos de manga durante o amadurecimento (Adaptado de O'Hare, 1995).

4. FISIOLOGIA DA RESPIRAÇÃO

Além de gerar energia, na forma de ATP, para a atividade celular, a respiração fornece moléculas orgânicas fundamentais para várias rotas metabólicas (NUNES-NESI *et al.*, 2010).

Os frutos podem ser classificados em climatéricos e não-climatéricos quanto ao comportamento da respiração durante o fenômeno da maturação. São climatéricos aqueles frutos que apresentam aumento na respiração por ocasião do início da maturação, já nos frutos não-climatéricos não há elevação da respiração durante a maturação.

Na Tabela 2 são apresentados os frutos classificados como climatéricos e não-climatéricos. A presença da respiração climatérica foi observada pela primeira vez por Franklin Kidd e Charles West no ano de 1924 em frutos de maçã armazenados sob refrigeração (Laties *et al.*, 1995).

Após a descoberta da respiração climatérica, em maçã, denominou-se de climatério a fase do desenvolvimento do fruto onde as alterações da respiração estavam associadas com as transformações físicas e químicas da maturação. Os frutos climatéricos podem apresentar o fenômeno do climatérico tanto na planta como destacados, desde que tenham atingido a maturidade fisiológica antes da colheita. A respiração, que pode acompanhar a emissão de etileno, aumenta rapidamente durante o amadurecimento dos frutos climatéricos (OLIVEIRA; VITÓRIA, 2011)

Por outro lado, os frutos não-climatéricos não têm a capacidade de completarem o amadurecimento caso sejam destacados da planta mãe. Esta incapacidade dos frutos não-climatéricos em atingir o pleno amadurecimento quando são colhidos da planta, parece estar associada às diferenças de respostas e produção do hormônio etileno que são observadas nos frutos climatéricos e não-climatéricos.

A distinção dos frutos em climatéricos e não-climatéricos definem importantes práticas de manejo pós-colheita. Assim, frutos climatéricos podem ser colhidos verde-maduros ou pré-climatéricos, permitindo o controle do início do amadurecimento e redução das perdas pós-colheita por deterioração.

Frutos não-climatéricos requerem muitas vezes cuidados adicionais no manuseio e transporte, uma vez que estes devem ser colhidos quando apresentam as melhores características de firmeza (amaciamento), aroma e sabor para consumo, dificultando a conservação.

Tabela 2 - Classificação de alguns frutos carnosos quanto ao padrão respiratório durante a maturação.

| Frutos Climatéricos | Frutos Não-Climatéricos |
|--|--|
| Maçã (<i>Malus domestica</i>) | Morango (<i>Fragaria sp.</i>) |
| Abacate (<i>Persea americana</i>) | Cacau (<i>Theobroma cacao</i>) |
| Banana (<i>Musa sp.</i>) | Caju (<i>Anacardium occidentale</i>) |
| Cherimóia (<i>Annona cherimolia</i>) | Cereja (<i>Prunus avium</i>) |
| Figo (<i>Ficus carica</i>) | Pepino (<i>Cucumis sativus</i>) |
| Manga (<i>Mangifera indica</i>) | Uva (<i>Vitis vinifera</i>) |
| Melão (<i>Cucumis melo</i>) | Limão (<i>Citrus limon</i>) |
| Mamão (<i>Carica papaya</i>) | Pomelo (<i>Citrus paradisi</i>) |
| Maracujá roxo (<i>Passiflora edulis var. edulis</i>) | Laranja (<i>Citrus sinensis</i>) |
| Maracujá amarelo (<i>P. edulis var. flavicarpa</i>) | Lichia (<i>Litchi chinensis</i>) |
| Kiwi (<i>Actinidia chinensis</i>) | Azeitona (<i>Olea europaea</i>) |
| Pêssego (<i>Prunus persica</i>) | Pimentão (<i>Capsicum annuum</i>) |
| Pera (<i>Pyrus communis</i>) | Tangerina Satsuma (<i>Citrus unshiu</i>) |
| Caqui (<i>Diopyros kaki</i>) | Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>) |
| Ameixa (<i>Prunus sp.</i>) | Carambola (<i>Averrhoa carambola</i>) |
| Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) | |
| Melancia (<i>Citrullus lanatus</i>) | |
| Sapoti (<i>Casimiroa edulis</i>) | |
| Goiaba (<i>Psidium guajava</i>) | |

Adaptado de Wills et al. (1981), Kays (1991) e Pocasangre Enamorado et al. (1995)

5. PAPEL DO ETILENO NA MATURAÇÃO DOS FRUTOS

Os frutos climatéricos e não-climatéricos apresentam resposta e capacidade distintas de síntese de etileno. Sabe-se que o etileno é o hormônio que induz o início do amadurecimento em frutos climatéricos, porém em frutos não-climatéricos parece haver outros fatores endógenos, além do etileno, envolvidos na indução desse processo.

5.1 NÍVEIS ENDÓGENOS DE ETILENO

O etileno é um gás hidrocarboneto que se encontra presente em células e espaços intercelulares dos tecidos vegetais. Em frutos climatéricos e não-climatéricos há altas taxas de produção de etileno nas fases iniciais do desenvolvimento dos frutos, seguido de período de grande queda na síntese do hormônio, coincidente com a fase de expansão celular. A existência de produções elevadas de etileno, no início do desenvolvimento do fruto, não tem relação com o padrão climatérico ou não-climatérico do fruto e parece estar relacionado com a divisão celular e crescimento radial das células.

Na fase de amadurecimento dos frutos, as concentrações de etileno presentes nos tecidos climatéricos e não-climatéricos variam de 0,01 a 0,1 ppm, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Concentração interna de etileno em frutos expressa em ppm.

| Frutos climatéricos | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Fruto | Pré-climatério | No início do Climatério | Pico climatérico |
| Abacate | 0,03 | 0,09 | 500 |
| Banana | 0,1 | 1,5 | 40 |
| Cherimoia | 0,03 | 0,04 | 219 |
| Manga | 0,01 | 0,08 | 3 |
| Melão | 0,04 | 0,3 | 50 |
| Mamão | - | 0,1 | 2,8 |
| Pera | 0,9 | 0,4 | 40 |
| Tomate | 0,08 | 0,8 | 27 |
| Frutos não-climatéricos | | | |
| <u>Estado de equilíbrio</u> | | | |
| Limão | 0,1 - 0,2 | | |
| Lima | 0,3 - 2,0 | | |
| Laranja | 0,1 - 0,3 | | |
| Abacaxi | 0,2 - 0,4 | | |

Adaptado de Biale & Young (1981).

Os diferentes frutos climatéricos têm capacidades distintas de síntese de etileno, resultando em grande variação na concentração interna de etileno nas fases finais do desenvolvimento (Tabela 3). Em frutos não-climatéricos, por outro lado, a concentração interna relativamente baixa de etileno reflete a reduzida capacidade destes frutos em produzir etileno ao longo do amadurecimento. Os frutos climatéricos possuem os sistemas 1 e 2 de regulação da produção de etileno. O sistema 1 opera durante a fase pré-climatérica do fruto e produz baixas quantidades de etileno, as quais são responsáveis pela indução do início do amadurecimento. Por outro lado, o sistema 2 opera durante o amadurecimento, onde são produzidas doses elevadas do hormônio, o qual também é conhecido como etileno autocatalítico. O sistema 1 de produção dispara o sistema 2 de produção de etileno, sendo este necessário para o completo amadurecimento dos frutos climatéricos. Em frutos não-climatéricos, há ausência do sistema 2 de produção de etileno, o que explica a baixa capacidade dos tecidos destes frutos em produzir quantidades elevadas do hormônio.

A concentração interna de etileno presente no início do climatérico é responsável pelo nível crítico mínimo necessário para a indução do amadurecimento (Tabela 3). Concentrações de 0,1 ppm são capazes de induzir o início da respiração climatérica e amadurecimento nos frutos climatéricos, porém ocorrem grandes variações na sensibilidade dos frutos ao etileno. Frutos como banana e melão são altamente sensíveis ao etileno, enquanto que frutos de manga, abacate e tomate são mais resistentes à ação do hormônio

no estágio pré-climatérico. Assim, concentrações internas menores de etileno são necessárias para induzir o amadurecimento em frutos com maior sensibilidade ao hormônio.

A sensibilidade da maioria dos frutos climatéricos ao etileno aumenta na medida em que o fruto se aproxima da maturidade fisiológica ou início do amadurecimento. Bananas do grupo Dwarf cavendish colhidas nos estádios pré-climatérico denominados de $\frac{3}{4}$ magra (verde imatura) e $\frac{3}{4}$ normal (verde madura) e submetidas a aplicação de $0,5 \mu\text{l}$ de etileno L^{-1} de ar pelo período de 1 dia tiveram o amadurecimento antecipado em ambos frutos, porém nos frutos colhidos no estágio $\frac{3}{4}$ normal, o climatério ocorreu 1,5 dias antes dos frutos colhidos no estágio $\frac{3}{4}$ magro (Liu, 1976). Tal comportamento demonstra que as bananas colhidas no estágio $\frac{3}{4}$ normal apresentaram maior sensibilidade ao etileno que as colhidas no estágio $\frac{3}{4}$ magra, uma vez que os frutos $\frac{3}{4}$ normal tiveram uma resposta mais rápida ao etileno.

Em frutos como abacate 'Choquette' e banana há aumento da concentração interna de etileno no início do amadurecimento e ascensão climatérica da respiração, tornando evidente o papel do hormônio na indução do climatério. Porém, em outros frutos climatéricos, como abacate 'Fuerte' e tomate, o início do amadurecimento inicia sem aparente alteração na concentração interna de etileno no período do pré-climatério mínimo. Nestes frutos parece que o aumento da sensibilidade dos frutos ao etileno é fator determinante da indução do início do amadurecimento. A maior sensibilidade dos frutos ao etileno parece estar relacionada com a indução da síntese ou aumento da disponibilidade de receptores do

etileno nas células. Há, entretanto outra hipótese, como a presença de substâncias antagonistas ao etileno que impediriam a ação do hormônio. Tal exemplo pode ser observado em algumas variedades de abacate onde o amadurecimento não se inicia enquanto os frutos permanecerem ligados à planta mãe. Porém, após a remoção dos frutos da planta estes se tornam sensíveis à aplicação de etileno bem como aos níveis internos do hormônio, iniciando o amadurecimento em poucos dias (Reid, 1995).

5.2 EFEITO DO ETILENO EXÓGENO

A aplicação de etileno em frutos climatéricos e não-climatéricos induz efeitos distintos, os quais estão relacionados com a natureza da resposta e habilidade de síntese de etileno. Além disso, a magnitude das respostas, nas duas classes, varia em função do estágio de desenvolvimento do fruto e da concentração aplicada. As respostas à aplicação de etileno em frutos climatéricos e não-climatéricos estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Resposta dos frutos climatéricos e não-climatéricos ao etileno exógeno.

| | Climatéricos | Não-climatéricos |
|-----------------------|---|----------------------------------|
| Resposta à aplicação | Somente antes da respiração climatérica | Durante toda a vida pós-colheita |
| Magnitude da resposta | Independente da concentração | Função da concentração |
| Nível endógeno | Variável, baixo para alto | Baixa |
| Autocatálise | Pronunciada | Ausente |

Adaptado de Biale & Young (1981).

A aplicação de etileno em frutos climatéricos causa antecipação da respiração climatérica e amadurecimento sem alterar a forma da curva da respiração e é efetivo quando usado em baixas concentrações. O etileno exógeno é efetivo em induzir o climatério

somente quando aplicado no estágio pré-climatérico do fruto, ou seja, antes da produção autocatalítica de etileno pelo fruto.

Em frutos não-climatéricos o uso de etileno exógeno induz elevação da respiração, quando aplicado em qualquer fase da vida pós-colheita. Além disso, o estímulo da respiração pelo etileno pode ser revertido caso o tratamento com o hormônio seja interrompido. O estímulo da respiração em frutos não-climatéricos pelo etileno será proporcional à concentração do hormônio.

5.3 PRODUÇÃO AUTOCATALÍTICA DE ETILENO

A produção autocatalítica de etileno que ocorre no amadurecimento de frutos climatéricos está relacionada com a capacidade dos tecidos em produzir altas quantidades do gás, em reposta a baixas concentrações de etileno presentes no início da ascensão climatérica da respiração. Substâncias análogas ao etileno, como acetileno e propileno, mimetizam a ação do etileno induzindo a autocatálise do etileno quando aplicado em frutos no estágio pré-climatérico. Porém, as substâncias análogas têm menor atividade que o etileno, necessitando assim, de concentrações mais elevadas para obter respostas semelhantes àquelas observadas com o uso de etileno.

Concentrações de 0,1 ppm de etileno são suficientes para iniciar o amadurecimento da maioria dos frutos climatéricos, porém

o etileno autocatalítico produzido tem sido considerado, por muitos autores, como um subproduto do climatério não afetando o desenvolvimento do amadurecimento. Avaliações das alterações bioquímicas ao longo do amadurecimento de frutos em plantas transgênicas de tomate, onde a produção de etileno foi inibida em cerca de 99%, mostraram que não há desenvolvimento de cor vermelha, aroma e amolecimento do fruto na ausência de etileno autocatalítico (Ludford, 1995). Este resultado sugere que a produção de altas quantidades de etileno no climatério são necessárias para o desenvolvimento das alterações bioquímicas do amadurecimento.

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento dos frutos é caracterizado por uma série de estádios que culminam com a maturação e senescência dos tecidos. A maturação é a fase em que ocorrem transformações importantes na vida do fruto, sendo o hormônio etileno responsável pela indução da ascensão da respiração e amadurecimento dos frutos climatéricos. Por outro lado, há poucas informações sobre o mecanismo de regulação da maturação em frutos não-climatéricos, onde não ocorre a fase distinta de amadurecimento. Nestes frutos, parece que outros fatores internos do metabolismo presentes no estádio de maturação do fruto, além do etileno, participam da indução do amadurecimento, porém a natureza e ação destas substâncias são ainda desconhecidas.

7. REFERÊNCIAS

ABELES FB; MORGAN PW & SALTVEIT Jr ME. 1992. *Ethylene in plant biology*. 2nd Edition. London: Academic Press. 414p.

BIALE JB & YOUNG RE. 1981. Respiration and ripening in fruits - retrospect and prospect. In: RIEND, J & RHODES, MJC (Eds.) *Recent advances in the plant biochemistry of fruits and vegetables*. London: Academic Press. p. 1-39.

COOMBE BG. 1976. The development of fleshy fruits. *Annual Review of Plant Physiology* 27: 507-528.

KADER AA. 1980. Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technology*: 51-54.

KAYS SJ. 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. New York: AVI. 532p.

LATIES GG; FRANKLIN K; WEST C & BLACKMAN FF. 1995. THE START OF MODERN POSTHARVEST PHYSIOLOGY. *POSTHARVEST PHYSIOLOGY AND TECHNOLOGY* 5: 1-10.

LIU FW. 1976. Banana response to low concentrations of ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 101: 222-224.

LUDFORD PM. 1995. Postharvest hormone changes in vegetables and fruit. In : DAVIES PJ (Ed.) *Plant Hormones*. 2nd Edition. Dordrecht: Netherlands. p. 725-750.

NUNES-NESEI, A.; FERNIE, A. R.; STITT, M. 2010. *Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions*. *Molecular Plant*, Shanghai, 3:973-996.

O'HARE TJ. 1995. Effect of ripening temperature on quality and compositional changes of Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kensington. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35: 259-263.

OLIVEIRA, J.G.; VITORIA, A.P. 2011. Papaya: nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International, Amsterdam*, 44: 1306-1313.

POCASANGRE ENAMORADO HE; FINGER FL; BARROS RS & PUSCHMANN R. 1995. Development and ripening of yellow passion fruit. *Journal of Horticultural Science* 70: 573-576.

REID MS. 1995. Ethylene in plant growth, development, and senescence. In: DAVIES PJ (Ed.). *Plant Hormones*. 2nd Edition. Dordrecht: Netherlands. p.486-508.

SALUNKHE DK & DESAI BB. 1984. *Postharvest biotechnology of fruits*. Vol. I. Boca Raton: CRC Press, 168p.

WILLS RHH; LEE TH; GRAHAM D; McGLASSON WB & HALL EG. 1981. *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. Westport: AVI, 63p.

CAPÍTULO 2





RESPIRAÇÃO DOS PRODUTOS HORTÍCOLAS

*Júlien da Silva Lima
Ana Maria Mapeli
Fernando Luiz Finger*

1. INTRODUÇÃO

As células vivas que compõem os tecidos das plantas estão sob o comando de um conjunto de reações enzimáticas que definem o metabolismo celular, as quais são de natureza anabólica ou de síntese e catabólica ou de degradação, mantendo a célula viva pela produção de energia na forma de ATP, poder redutor (NADH, NADPH e FADH₂) e de intermediários orgânicos. Os principais produtos do catabolismo celular são o lactato, etanol, CO₂ e NH₃, enquanto que nas reações anabólicas pequenas moléculas são transformadas em componentes mais complexos, como lipídeos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucléicos.

O metabolismo vegetal apresenta como processos primordiais a fotossíntese e respiração, havendo uma interrelação entre os mesmos, já que o carboidrato e a energia produzidos pela fotossíntese são consumidos na respiração. Na fase pós-colheita, a fotossíntese torna-se limitada, pois as folhas perdem a habilidade fotossintetizante,

não sendo capazes de armazenarem carbono. Além disso, a reserva contida nos órgãos de armazenamento são utilizadas para reações anabólicas.

Na fase pós-colheita, a respiração torna-se o principal processo fisiológico, uma vez que não há absorção de água e minerais, transporte de nutrientes pelo sistema vascular, bem como a atividade fotossintetizante das folhas da planta-mãe. Portanto, as partes do vegetal adquirem atividades independentes, sendo necessário o constante consumo das reservas orgânicas armazenadas antes da colheita dos produtos hortícolas, durante as fases de crescimento e maturação, permitindo a manutenção das reações vitais da célula.

A respiração é o processo primário para produção de energia, poder redutor e intermediários orgânicos nos produtos hortícolas colhidos, os quais são utilizados para biossíntese de novos compostos indispensáveis ao bom funcionamento e manutenção da planta como um todo, principalmente no que se refere à organização celular, à permeabilidade de membranas, ao transporte de metabólitos para os tecidos, além da síntese e atividade enzimática. Quando em condições aeróbicas, este processo ocorre em três estádios principais: a Glicólise, o Ciclo do Ácido Cítrico (ou de Krebs) e a Fosforilação Oxidativa. Na ausência de oxigênio, a glicólise pode ser a principal fonte de energia para as células, ocorrendo a rota fermentativa.

Os tecidos de folhas, hastes e raízes, quando destacados da planta, continuam respirando numa taxa estabilizada, apresentando um declínio gradual com o início da senescência, o que torna o produto mais susceptível à perda de umidade e ao desenvolvimento de microrganismos, reduzindo a vida útil dos produtos perecíveis.

Neste capítulo, serão abordados a significância da respiração sobre a deterioração fisiológica dos produtos hortícolas, a influência dos fatores do ambiente sobre a atividade respiratória, bem como o contexto metabólico, destacando as interconexões e as características peculiares às plantas.

2. SIGNIFICÂNCIA DA RESPIRAÇÃO

Respiração é a quebra oxidativa de substratos mais complexos encontrados nas células, tais como amidos, açúcares e ácidos orgânicos, transformando-os em moléculas mais simples como dióxido de carbono e água (CO_2 e H_2O), com consumo de O_2 , produção de energia (ATP e calor) e outras moléculas que podem ser usadas pelas células para reações de síntese (Taiz et al., 2017).

Diversos fatores podem afetar a taxa de respiração de plantas intactas ou de seus órgãos individuais, sendo os mais relevantes: espécie, hábito de crescimento, tipo e idade do órgão específico, além das variáveis ambientais como concentração externa de oxigênio, temperatura e suprimento de água e nutrientes.

A respiração para a maioria dos produtos hortícolas é o fator mais importante da deterioração dos órgãos destacados, sendo que a intensidade da atividade respiratória reflete a velocidade de degradação do material durante o armazenamento na etapa pós-colheita. Assim, a taxa de respiração pode ser utilizada como previsão da perda de massa de flores e outras estruturas podem não

atuar como sítios de armazenamento de carbono, havendo apenas depleção das reservas de carbono (amido, açúcares solúveis e ácidos orgânicos). Em frutos e hortaliças, o consumo das reservas orgânicas reduz o sabor do produto.

Todos os produtos hortícolas continuam respirando após a colheita, havendo constante troca de elementos entre o tecido vivo e o ambiente, conforme pode ser definida pela equação geral da respiração:



Portanto, a oxidação completa de uma molécula de glicose consome 6O_2 e libera para o ambiente 6CO_2 e $6\text{H}_2\text{O}$, possibilitando a geração de 686 kcal, parte liberada na forma de calor a parte armazenada como ATP. A respiração é um processo pouco eficiente de conservação de energia, onde apenas 42% do potencial da energia produzida pela oxidação completa da glicose é armazenada na forma de ATP (Kader, 1987). O restante da energia será dissipado na forma de calor para ambiente circundante, determinando, em parte, o método de resfriamento a ser utilizado, o tipo e dimensão da embalagem e a altura das pilhas no armazenamento dos produtos hortícolas. A dissipação do calor produzido pela respiração dá-se via transpiração, reduzindo assim a vida útil de prateleira dos hortícolas.

A oxidação completa da glicose pela respiração aeróbica pode ser dividida em três etapas:

Glicólise – oxidação de um açúcar, principalmente sacarose, para produzir um ácido orgânico, como piruvato, realizada por um conjunto de enzimas solúveis localizadas no citossol e nos plastídeos;

Ciclo do ácido tricarboxílico – formado por um conjunto de enzimas que catalisam a oxidação do piruvato para CO_2 na mitocôndria, gerando a maior parte do poder redutor;

Cadeia de transporte de elétrons – rota onde ocorre a oxidação dos dinucleotídeos NADH, NADPH e FADH_2 para a geração de ATP, via duas rotas a citocromo oxidase e pela rota alternativa resistente ao cianeto. Os sistemas protéicos oxidativos são formados na membrana interna da mitocôndria e a reação final de oxidação se dá com oxigênio molecular formando H_2O como produto. Essa transferência de elétrons desprende uma grande quantidade de energia livre, da qual parte considerável é conservada por meio da síntese de ATP a partir de ADP e Pi (fosfato inorgânico), catalisada pela ATP sintase. Coletivamente, as reações redox da cadeia transportadora de elétrons e a síntese de ATP são chamadas de *Fosforilação Oxidativa*.

A glicose pode não sofrer completa oxidação pelo processo respiratório, por deficiência ou ausência de O_2 , com subsequente acúmulo de piruvato, sendo então convertido em lactato e/ou etanol e CO_2 pela fermentação láctica ou alcoólica, respectivamente.

3. DETERMINAÇÃO DA RESPIRAÇÃO

A atividade respiratória dos produtos hortícolas é expressa em mg ou ml $\text{CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, no qual o produto fresco libera de CO_2 para o ambiente, o que depende do tipo de tecido, do estágio de desenvolvimento na colheita, da composição química, das barreiras físicas entre a célula e o ambiente, da relação superfície/volume do produto, do gradiente de CO_2 entre o tecido e o ambiente, da composição dos gases atmosféricos, bem como da temperatura de armazenamento, umidade relativa.

A determinação da produção de CO_2 pelos tecidos pode ser realizada em sistema fechado ou aberto. No primeiro caso, o produto é colocado em frascos selados, onde se permite o acúmulo de CO_2 por um período determinado de tempo, o qual varia em função do volume de produto, da relação entre o volume do frasco e do produto, da temperatura e da taxa de liberação de CO_2 do fruto, hortaliça ou flor.

O sistema aberto de determinação de CO_2 requer a colocação do produto em frasco que permite a passagem de um fluxo de ar livre de CO_2 . A amostra é coletada na saída do frasco, após o ar ter passado pelo produto, permitindo assim receber um acréscimo na concentração de CO_2 não existente antes da entrada do frasco. Este sistema requer controle absoluto do fluxo de ar através do frasco, visto que alterações na velocidade do ar afetam a difusão do CO_2 de dentro para fora do tecido.

Frutos e hortaliças podem ser classificados quanto à intensidade da respiração, a uma determinada temperatura de armazenamento,

em diferentes classes exemplificadas nas Tabelas 1 e 2. Frutos, em geral, têm maior atividade respiratória que as hortaliças, refletindo a elevada produção de CO₂ que acompanha o amadurecimento de frutos climatéricos, como abacate, banana madura e fruta-do-conde (Tabela 1). Nas hortaliças, a baixa produção de CO₂ verificada em cebola e batata reflete o estado de dormência desses órgãos de armazenamento (Tabela 2), sendo que a redução ou incremento da temperatura não altera significativamente a respiração, como geralmente ocorre nos frutos, folhas, raízes e flores.

Em cebola da cultivar 'Crioula' há uma correlação linear inversa entre a atividade respiratória e a vida de prateleira do produto (Brackmann *et al.*, 2010). Neste trabalho, os autores verificaram que o armazenamento desta espécie a -0,5; 0,5; 2,0; 4,0; 6,0 e 10°C, reduziu progressivamente a vida de prateleira, atingindo 0% de produto comerciável quando armazenado na maior temperatura. Correlações similares podem ser observadas em *Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg, onde se verifica uma correlação exponencial inversa entre a atividade respiratória da espécie e o respectivo potencial de conservação, quando armazenadas a 0; 3; 6; 9 e 12 ± 1°C (Vieites *et al.*, 2011). Além disso, hastes de *Epidendrum ibaguense* colocadas em vaso e armazenadas em temperatura de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40°C, em água ou a seco, apresentaram aumento na taxa respiratória proporcional ao incremento de temperatura, havendo relação inversa com a longevidade (Mapeli *et al.*, 2011). Tais evidências claramente colocam a respiração como o principal fator associado com a deterioração prematura dos produtos hortícolas. Assim, a redução

da temperatura de armazenamento atua como o principal fator de redução da velocidade de deterioração dos órgãos vegetais.

A respiração obedece ao fator Q_{10} , ou seja, para cada 10°C de elevação da temperatura de armazenamento ocorre duplicação da respiração, de acordo com a lei de Van't Hoff:

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(t_2 - t_1)}$$

Onde: R_2 e R_1 correspondem a taxa respiratória na temperatura mais elevada e inferior, respectivamente e t_2 e t_1 as respectivas temperaturas nas quais as taxas respiratórias foram determinadas. Há grande variação no fator Q_{10} dos produtos hortícolas em função da espécie, cultivar e temperatura de armazenamento, porém de maneira geral eles se aproximam do valor 2 dentro do limite de 0 e 40°C.

Tabela 1 - Classificação de frutos tropicais quanto à intensidade respiratória.

| Classe | Respiração a 10°C (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) | Produto |
|---------------|---|---|
| Muito baixa | < 35 | Laranja, abacaxi, carambola |
| Baixa | 35 – 70 | Banana (verde), lichia, mamão, maracujá |
| Moderada | 70 – 150 | Manga, goiaba |
| Alta | 150 – 300 | Abacate, banana (madura), atemóia |
| Muito alta | > 300 | Fruta-do-conde |

Fonte: Adaptado de Paull (1993).

Tabela 2 - Classificação das hortaliças quanto à intensidade respiratória.

| Classe | Respiração a 10°C (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹) | Produto |
|-------------------|---|---|
| Muito baixa | < 10 | Cebola, batata |
| Baixa | 10 – 20 | Repolho, pepino, melão, beterraba, tomate |
| Moderada | 20 – 40 | Cenoura, aipo, pimentão, alho porro |
| Alta | 40 – 70 | Aspargo, berinjela, alface |
| Muito alta | 70 – 100 | Feijão-de-vagem, couve de bruxelas, espinafre |
| Extremamente alta | > 100 | Brócolis, ervilha, salsa, milho doce |

Fonte: Adaptado de Weichmann (1987).

4. ETAPAS DA RESPIRAÇÃO

A respiração aeróbica é um processo comum para todos os organismos eucarióticos, envolvendo a oxidação de substratos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas, aminoácidos e ácidos orgânicos) a CO_2 e H_2O .

A primeira etapa da respiração envolve uma série de enzimas citossólicas que oxidam açúcar a ácidos orgânicos (Figura 1). No primeiro passo da glicólise, ocorre a fosforilação da glicose com consumo de uma molécula de ATP. A reação irreversível é catalizada pela hexoquinase. A glicose-6-fosfato é transformada para frutose-6-fosfato pela ação da isomerase, numa reação reversível próxima ao equilíbrio, não exercendo, portanto um importante papel no controle da glicólise.

A fosfofrutiquinase (PFK-1) é considerada a principal enzima regulatória da glicólise, esta enzima cataliza uma reação irreversível com o consumo de ATP resultando na adição do grupo fosfato à hidroxila do carbono de número um da frutose-6-fosfato. A enzima é alostérica e tem como fatores de aumento da atividade o ADP e AMP e como fatores de redução da atividade o ATP e citrato produzido no ciclo do ácido tri-carboxílico. Em um estudo detalhado sobre a atividade e cinética da PFK-1 em banana, observou-se que a produção de frutose 1,6-bifosfato se elevou em 20 vezes quando ocorre o início da respiração climatérica durante o amadurecimento dos frutos, enquanto que a atividade da PFK-1 se elevou em 2,5 vezes (Salmine & Young, 1975). Paralelamente ao aumento na atividade

da PFK, os autores observaram que houve alterações na afinidade da enzima pela frutose 6-fosfato, fazendo que o K_m fosse reduzido de 5,6 para 1,7 mM. Esses dados mostraram que ao dar-se início a respiração climatérica, ocorre uma elevação da afinidade da enzima pelo substrato, e que durante a fase pré-climatérica da respiração, a atividade da PFK-1 é regulada por um efeito cooperativo negativo, mantendo assim a atividade em níveis mais baixos.

Na glicólise há também a presença da fosfofrutoquinase-2 (PFK-2) que catalisa a fosforilação da frutose-6-fosfato para formação de frutose 2,6-bifosfato. Essa hexose fosfato atua como ativador da PFK-1.

Em plantas há a presença de outra forma de fosfofrutoquinase que é dependente de pirofosfato (PPI) e não de ATP, como o doador do grupo fosfato para a formação de frutose 1,6-bifosfato. Este açúcar é por sua vez quebrado produzindo gliceraldeído-3-fosfato e dihidroxiacetona-fosfato pela ação da aldolase (Figura 1). O gliceraldeído-3-fosfato é o substrato da próxima reação, portanto a dihidroxiacetona-fosfato é constantemente isomerizado em gliceraldeído-3-fosfato pela ação de uma triose fosfato isomerase. A aldolase e a triosefosfato isomerase não são consideradas etapas controladoras da Glicólise.

O gliceraldeído-3-fosfato é o único substrato a ser oxidado pela gliceraldeído fosfato desidrogenase para formação de 1,3-fosfoglicerato e NADH. Após a ação de uma quinase seguido de uma mutase leva a formação de 2-fosfoglicerato. Este substrato é transformado em fosfoenolpiruvato (PEP) pela ação de uma metalo enzima, a aldolase

que requer a presença de Mg^{+2} como cofator para ser ativa. Duas funções estão associadas ao Mg^{+2} , ligar o substrato 2-fosfoglicerato a enolase e manter a forma dimérica da enzima.

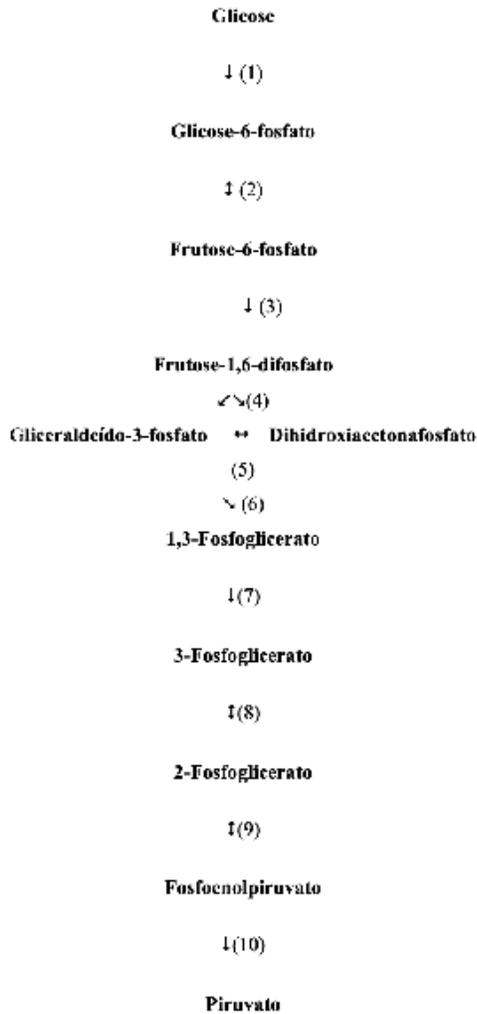


Figura 1 - **Glicólise**. (1) Hexoquinase, (2) Glicose fosfato isomerase, (3) Fosfofrutoquinase, (4) Aldolase, (5) Triose fosfato isomerase, (6) Gliceraldeído 3-fosfato desidrogenase, (7) Fosfoglicerato quinase, (8) Fosfoglicerato mutase, (9) Enolase, (10) Piruvato quinase.

A piruvato quinase cataliza a reação irreversível transformando fosfoenolpiruvato em piruvato com formação de ATP. A enzima tem regulação alostérica, sendo ativada pela presença de frutose-1,6-bifosfato e ADP e inibida por ATP e citrato.

A reação completa da glicólise pode ser representada pela equação abaixo:



5. FERMENTAÇÃO

Em condições de anaerobiose, o ciclo do Ácido Cítrico e a Fosforilação Oxidativa não podem funcionar. Portanto, a glicólise não pode continuar a ocorrer devido à limitação do suprimento celular de NAD^+ , impedindo a atuação da gliceraldeído fosfato desidrogenase. Para solucionar este problema, as plantas e outros organismos realizam a metabolização do piruvato por meio do processo fermentativo, no qual o piruvato é convertido em etanol e CO_2 pela ação da piruvato decarboxilase e álcool desidrogenase. Alternativamente, o piruvato pode ser transformado em lactato pela ação da lactato desidrogenase (Figura 2).

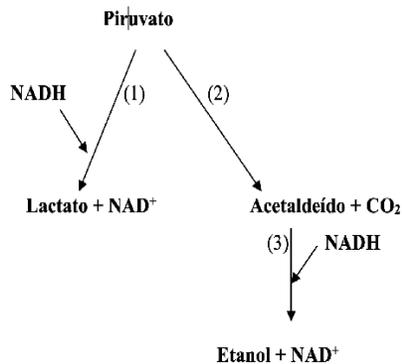


Figura 2 - Fermentação - conversão anaeróbica do piruvato em lactato e etanol. (1) Lactato desidrogenase, (2) Piruvato decarboxilase, (3) Álcool desidrogenase.

Um dos primeiros efeitos da presença de baixas concentrações de O₂ na atmosfera de armazenamento é sobre a respiração. A maioria das frutas e hortaliças apresentam redução da respiração entre 1 a 3% de O₂, porém pode ocorrer fermentação dependendo da espécie, temperatura de armazenamento e estágio de desenvolvimento do produto hortícola. Caso ocorra fermentação, verifica-se rápido acúmulo de etanol e acetaldeído. Em nêspera (*Eriobotrya japonica* Lindl.), a utilização de filme polietileno de baixa densidade (PEBD, 50 µm) e polipropileno (PP, 30 µm), associada ao armazenamento refrigerado a 1°C/90%UR, não é indicada para o aumento do período de conservação dos frutos, pois deprecia sua qualidade devido às condições de anaerobiose e elevada incidência de podridões (Sanches et al., 2011).

A fermentação caracteriza-se pela baixa eficiência de conservação de energia, sendo necessária uma maior taxa de glicólise

para sustentar a produção de ATP exigida para sobrevivência celular. Este processo é denominado Efeito Pasteur, em homenagem ao microbiologista francês Louis Pasteur, primeiro a perceber tal efeito.

Outra consequência da falta de O_2 para a oxidação do piruvato pelo ciclo do ácido tricarboxílico é a elevada produção de CO_2 pelo processo fermentativo (Figura 3). Nessas condições de baixa tensão de O_2 , a razão entre o CO_2 liberado e o O_2 absorvido, denominado de coeficiente respiratório ($CR = CO_2/O_2$) ficará muito acima de 1,0.

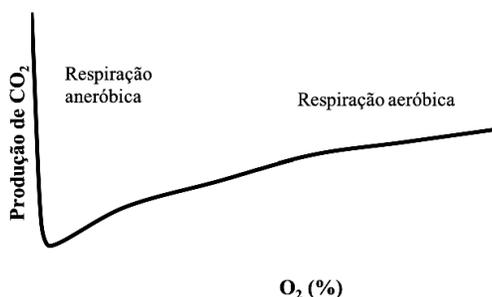


Figura 3 - Comportamento da produção de CO_2 pelos produtos hortícolas em função da concentração de O_2 na atmosfera de armazenamento.

Independente da temperatura de armazenamento dos produtos hortícolas, a redução dos níveis de O_2 de 21% presentes no ar para 3%, reduziu a produção de CO_2 em todos os produtos, exceto para o pimentão armazenado a $0^\circ C$, onde a reduzida atmosfera de O_2

não teve efeito sobre a produção de CO_2 (Tabela 3). Nesses produtos, a magnitude da redução da respiração foi dependente da espécie e da temperatura na qual o produto foi armazenado. Os maiores efeitos da baixa atmosfera de O_2 em reduzir a respiração é observada nas temperaturas de armazenamento de 10 e 20°C comparado com o armazenamento a 0°C, onde foi observado redução de até 60% na produção de CO_2 para o tomate armazenado a 20°C (Tabela 3).



Tabela 3 - Produção de CO₂ em produtos hortícolas armazenados em ar e atmosfera com 3% de O₂.

| Temperatura (°C) | Produção de CO ₂ (mg kg ⁻¹ h ⁻¹) | | | | | |
|------------------|--|-----|-----|----------------------|-----|-----|
| | Ar | | | 3% de O ₂ | | |
| | 0 | 10 | 20 | 0 | 10 | 20 |
| Tomate | 6 | 15 | 30 | 4 | 6 | 12 |
| Pimentão | 8 | 20 | 35 | 9 | 14 | 17 |
| Morango | 15 | 52 | 127 | 12 | 45 | 86 |
| Brócolis | 77 | 170 | 425 | 65 | 115 | 215 |
| Couve flor | 7 | 12 | 33 | 5 | 9 | 22 |
| Cenoura | 13 | 19 | 33 | 7 | 11 | 25 |

Fonte: Adaptado de Thompson (1996).

6. CICLO DO ÁCIDO TRICARBOXÍLICO (TCA)

O ciclo do ácido tricarboxílico ou Ciclo de Krebs constitui o segundo estágio da respiração, ocorre na matriz mitocondrial e

caracteriza-se pelo movimento de elétrons de ácidos orgânicos para cofatores NAD^+ e FAD^+ , formando NADH e FADH_2 , bem como CO_2 .

Na etapa preparatória, o piruvato, gerado no citossol durante a glicólise, deve ser transportado pela membrana interna da mitocôndria. Ao atingir a matriz mitocondrial, o piruvato é oxidado, ocorrendo a conversão em acetil CoA, CO_2 e NADH pelo complexo enzimático piruvato desidrogenase. Este complexo é inibido pelo NADH , atuando competitivamente com o NAD^+ , sugerindo que a razão NAD^+/NADH exerce um controle fino na regulação do ciclo do TCA.

A reação inicial do TCA envolve a doação do grupo acetil do substrato acetil CoA para o oxaloacetato (AOA) para formar o ácido crítico para a ação da citrato sintase (Tabela 4).

A regulação do ciclo do TCA se dá pelo giro (*turnover*) das enzimas, pelo transporte de metabólitos do citoplasma para a mitocôndria, pela razão ATP/ADP , pelo pH, bem como pelos metabólitos intermediários e pela presença de co-fatores enzimáticos. O acúmulo de intermediários e de seus derivados, como citrato e glutamato, inibe a ação da piruvato quinase citossólica, aumentando a concentração de PEP citossólico, o que reduz a taxa de conversão da frutose-6-fosfato a frutose 1,6-bisfosfato, inibindo a glicólise. O ciclo apresenta seis sítios de controle: citrato sintase, malato desidrogenase, succinato desidrogenase, α -cetoglutarato desidrogenase, succinil CoA sintase e isocitrato desidrogenase.

Um dos principais pontos de controle do ciclo do TCA é a citrato sintase, cuja atividade é inibida pela presença de elevadas concentrações de ATP.

Tabela 4 - Ciclo do ácido cítrico.

| Etapa | Reação | Enzima |
|--------------|---|---------------------------------------|
| 1 | $\text{Acetil CoA} + \text{AOA} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Citrato} + \text{CoASH} + \text{H}^+$ | Citrato sintase |
| 2 | $\text{Citrato} \leftrightarrow \text{Isocitrato}$ | Aconitase |
| 3 | $\text{Isocitrato} + \text{NAD}^+ \rightarrow \alpha\text{-Cetogluturato} + \text{NADH} + \text{CO}_2$ | Isocitrato desidrogenase |
| 4 | $\alpha\text{-Cetogluturato} + \text{CoASH} + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{Succinil CoA} + \text{NADH} + \text{CO}_2$ | α -Cetogluturato desidrogenase |
| 5 | $\text{Succinil CoA} + \text{ADP} + \text{Pi} \leftrightarrow \text{Succinato} + \text{ATP} + \text{CoASH}$ | Succinato tiokinase |
| 6 | $\text{Succinato} + \text{FAD} \leftrightarrow \text{Fumarato} + \text{FADH}_2$ | Succinato desidrogenase |
| 7 | $\text{Fumarato} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{L-Malato}$ | Fumarase |
| 8 | $\text{L-Malato} + \text{NAD} \leftrightarrow \text{AOA} + \text{NADH} + \text{H}^+$ | Malato desidrogenase |

7. CADEIA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS E FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA

A cadeia transportadora de elétrons e fosforilação oxidativa são os estádios finais do metabolismo produtor de energia nos organismos aeróbicos. Todas as etapas oxidativas na degradação dos carboidratos, gorduras e aminoácidos convergem para esses processos, onde a energia proveniente da oxidação é responsável pela síntese de ATP. A cadeia transportadora de elétrons catalisa a transferência de elétrons do NADH e FADH_2 para o oxigênio, por meio de complexos protéicos que formam o complexo citocromo oxidase e a rota alternativa resistente ao cianeto. Assim, esta etapa caracteriza-se pela oxidação do NADH e FADH_2 e, no processo, utilizar parte da energia livre desprendida para gerar um gradiente eletroquímico de prótons, através da membrana mitocondrial interna.

A cadeia transportadora de elétrons possui o mesmo conjunto de carreadores de elétrons encontrado nas mitocôndrias de outros organismos, incluindo transportadores que atuam seqüencialmente, a maioria dos quais são proteínas integrais de membrana que apresentam grupos prostéticos capazes de aceitar ou doar um ou dois elétrons.

Os complexos I (NADH desidrogenase) e II (succinato desidrogenase) catalisam a transferência de elétrons para a ubiquinona a partir de dois doadores de elétrons diferentes: o NADH (complexo I) e o succinato (complexo II). O complexo III (complexo de citocromos bc1) transporta elétrons da ubiquinona até o citocromo c e, o complexo

IV (citocromo c oxidase) completa a seqüência transferindo elétrons do citocromo c para o O_2 .

Além do conjunto de carreadores mencionados, as mitocôndrias vegetais contêm alguns componentes não encontrados em mamíferos, como:

- a) NAD(P)H desidrogenases externas (insensível à rotenona), as quais podem aceitar elétrons diretamente do NAD(P)H produzido no citossol e ingressam na cadeia principal no nível do *pool de ubiquinonas*;
- b) NAD(P) desidrogenases insensíveis à rotenona que ocorrem no lado matricial da membrana;
- c) Oxidase alternativa, que integra uma rota respiratória alternativa para redução de oxigênio. Ao contrário da citocromo c oxidase, é insensível à inibição por cianeto, azida e monóxido de carbono. Nesta etapa, os elétrons saem da cadeia principal para a rota alternativa, também chamada de rota resistente ao cianeto, no nível do *pool* de ubiquinona. A oxidase alternativa é o único componente da rota, catalisando uma redução com quatro elétrons de oxigênio para água. Esta reação é inibida por vários compostos, especialmente o ácido salicilhidroxâmico (SHAM).

Quando os elétrons passam pela rota alternativa, dois locais de bombeamento de prótons (complexos III e IV) não são utilizados. Como não existe local de conservação de energia, a energia livre que seria conservada na forma de ATP é perdida como calor.

Esta produção de calor (termogênese) é importante para o desenvolvimento floral de alguns membros de Araceae. Essas plantas apresentam folhas delgadas densamente empacotadas em uma estrutura ereta chamada espádice, rodeada por uma folha modificada chamada espata. A espádice libera odores de carne putrefata ou esterco. Antes da polinização a espádice também se aquece, em muitas espécies de 20 até 40°C acima da temperatura ambiente. O processo termogênico ajuda a evaporação das moléculas odoríferas para uma melhor dispersão.

Além disso, estes sistemas dissipadores de energia em plantas desempenham outras funções, incluindo a produção de intermediários metabólicos quando a concentração de ATP for elevada, regeneração de NAD^+ quando a cadeia transportadora de elétrons estiver “saturada”, bem como mecanismo antioxidativo, pois evita a produção radicais livres.

Na fosforilação oxidativa, a transferência de elétrons para o oxigênio mediante aos complexos I a IV é acoplada à síntese de ATP, a partir de $\text{ADP} + \text{P}_i$, via ATP sintase (complexo V), sendo que o número de ATPs sintetizado depende da natureza do doador de elétrons.



8. REFERÊNCIAS

BRACKMANN A; GASPERIN AR; WEBER A; ANESE RO. 2010. Condições de temperatura, umidade relativa e atmosfera controlada para o armazenamento de cebolas da cultivar 'Crioula'. *Ciência Rural* 40: 1709-1713.

KADER A. 1987. Respiration and gas exchange of vegetables. In: WEICHMANN J. (Ed.). *Postharvest physiology of vegetables*. New York: Marcel Dekker, Inc., p. 25-43.

PAULL RE. 1993. Tropical fruit physiology and storage potential. In: CHAMP R; HIGHLEY E; JOHNSON GI. (Eds.). *Postharvest handling of tropical fruits*. Brisbane: Watson Ferguson and Co. p. 198-204.

SANCHES J; CIA P; VALENTINI SRT; BENATO E; CHAGAS EA; PIO R. 2011. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita da nêspera 'Fukuhara'. *Bragantia* 70: 455-459.

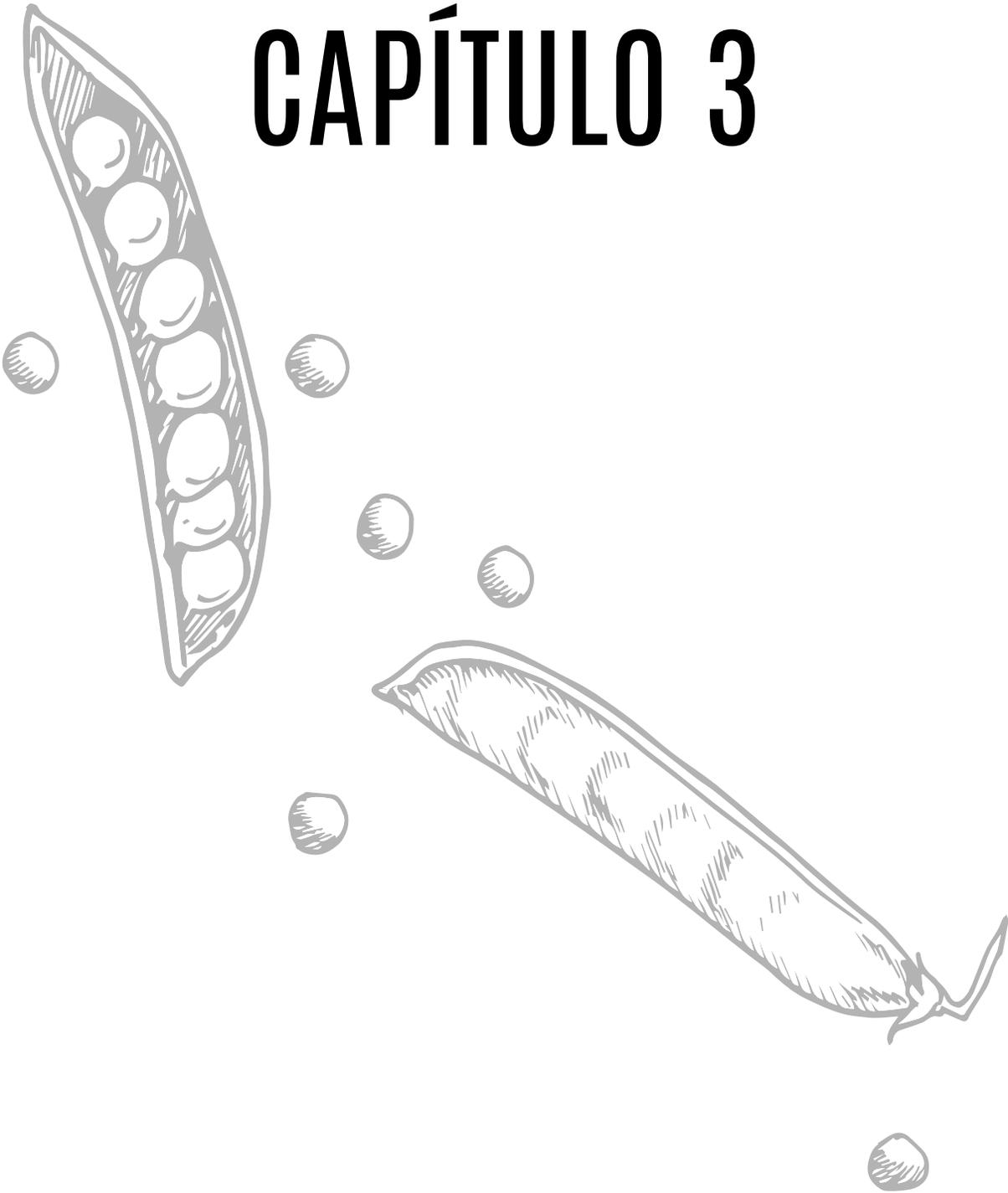
TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. 2017 (Ed.) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: ARTMED,, 858 p.

THOMPSON AK. 1996. *Postharvest technology of fruit and vegetables*. Oxford: Blackwell Science. 410p.

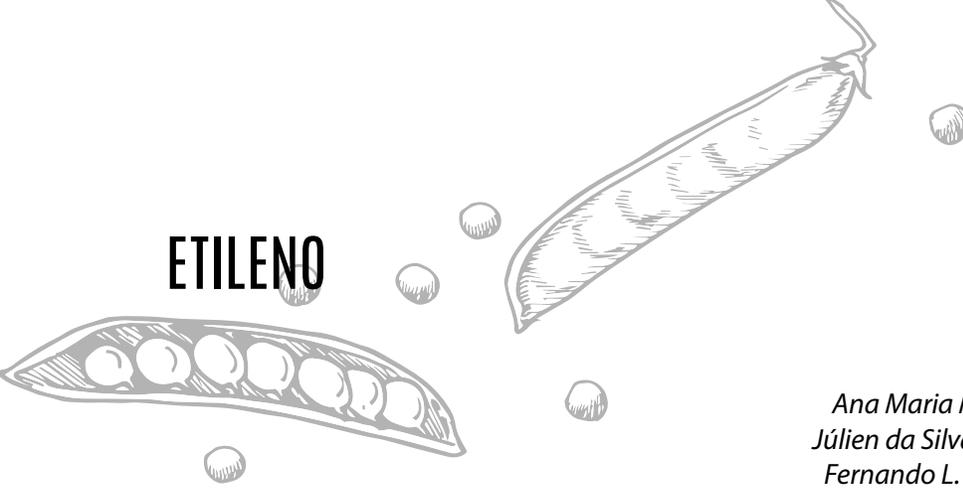
VIEITES RL; DAIUTO RG; MORAES MR; NEVES LC; CARVALHO LR. 2011. Caracterização físico-química, bioquímica e funcional da jabuticaba armazenada sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33: 362-375.

WEICHMANN J. 1987. Introduction. In: WEICHMANN J. (Ed.). *Postharvest physiology of vegetables*. New York: Marcel Dekker, Inc. p. 3-7.

CAPÍTULO 3



ETILENO

The illustration shows two pea pods. One is open, revealing several round seeds inside. The other is closed. Several individual seeds are scattered around the pods. The drawing is done in a simple, sketchy style with fine lines and shading.

Ana Maria Mapeli
Júlien da Silva Lima
Fernando L. Finger

1. INTRODUÇÃO

O etileno é a mais simples olefina (alceno) conhecida, sendo uma molécula simétrica de dois carbonos e uma ligação dupla, com peso molecular de 28,05g. Este hormônio é um gás inflamável sem cor, sofre rápida oxidação e possui densidade relativa com o ar de 0,978, apresentando temperatura de congelamento, fusão e ebulição de -181, -169,5 e -103,7°C, respectivamente. Apesar de atuar na fase líquida, a determinação é realizada na fase gasosa. O coeficiente de difusão em ar é 10.000 vezes mais que na água. Além disso, a presença de solutos reduz a solubilidade do etileno na aquosa da célula, sendo que este hormônio é 14 vezes mais solúvel em lipídeos que em água, com coeficiente de partição água/gás de 0,081 e óleo/gás = 1,28. É interessante notar que, em função de ser volátil, o etileno produzido por uma planta pode afetar o desenvolvimento de outra planta.

O reconhecimento do etileno como hormônio vegetal originou-se de diversas observações. Os egípcios e chineses milenares já haviam verificado que a fumaça de incenso acelerava a maturação

de frutos, sendo o processo mais rápido em frutos colhidos “de vez”. Além disso, uma prática antiga referente à utilização de fogueiras próximas às plantações de manga (nas Filipinas) e de abacaxi (nas Antilhas) contribuía com o início e a sincronização da floração nestas culturas.

Em 1864, Girardin observou que o gás de iluminação (produto da combustão de carvão) provocava o desfolhamento de árvores que se encontravam próximas aos postes de iluminação. Apenas em 1901, Neljubov constatou que o etileno era o componente do gás que afetava o crescimento das plantas, promovendo a resposta tríplice em plântulas de ervilha, compreendendo a inibição do alongamento caulinar, o espessamento do caule e o hábito de crescimento horizontal (perda da sensibilidade gravitrópica). Este pesquisador verificou também que o gás inibia a abertura do “gancho plumular” do hipocótilo e o crescimento foliar.

Cousins, em 1910, observou que laranjas armazenadas com bananas provocavam o amadurecimento prematuro destas, demonstrando que o etileno era produzido por tecidos vegetais, portanto, um hormônio. Atualmente, sabe-se que o gás produzido era originado dos fungos *Penicillium* que contaminavam as laranjas. Já em 1934, Gane constatou que o etileno era também sintetizado por maçãs. Durante 25 anos, este regulador não foi reconhecido como um importante fitohormônio, principalmente, porque a maioria dos fisiologistas acreditava que os efeitos induzidos pelo etileno eram devido à ação das auxinas. Entretanto, só a partir de 1959, com o desenvolvimento da técnica de cromatografia gasosa, foi possível comprovar efetivamente que os tecidos vegetais sintetizavam

etileno, passando a ser reconhecido o seu papel como regulador do crescimento.

Em muitos casos, o etileno aumenta naturalmente durante o desenvolvimento, mas também pode originar-se de contaminantes atmosféricos, incluindo gases exauridos de motores, uma vez que é produto da combustão incompleta de compostos ricos em carbono (petróleo, carvão, gás natural, gasolina, óleo diesel). A produção deste regulador também pode estar associada às infecções fúngicas e/ou bacterianas, às injúrias mecânicas, aos estresses hídrico, térmico e salino, e também aos outros fitormônios. O conteúdo atmosférico de etileno varia de acordo com as condições, sendo de 1-5 nl/l em áreas rurais não poluídas, 30-700 nl/l nas cidades, 17-35 nl/l em supermercados, 60 nl/l em centros de distribuição e atacadistas.

O etileno tem atividade biológica na concentração de 1 ul/litro (um microlitro por litro) ou $6,5' \times 10^{-9}$ M a 25°C, sendo responsável por diversos efeitos fisiológicos, destacando-se a indução do amadurecimento, da senescência, da perda de clorofila, da abscisão, das desordens fisiológicas além de outras respostas que promovem a deterioração dos produtos hortícolas tanto durante o transporte como no armazenamento. Este hormônio também promove a epinastia das folhas, formação do gancho plumular, quebra de dormência de sementes e gemas, formação de raízes adventícias e pêlos radiculares, indução e inibição da floração em determinadas espécies, bem como feminilização de flores.

O efeito do etileno sobre a abscisão foliar pode ser verificado em várias espécies, incluindo pimenteiras ornamentais, visto que a

exposição a 10ppm, por 24h, promoveu 100% de abscisão, após 3 dias de armazenamento (Figura 1).

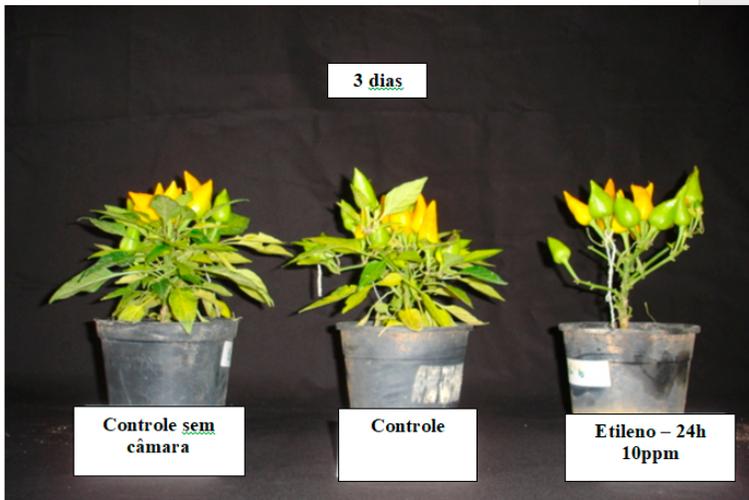


Figura 1 - Efeito do etileno sobre a abscisão foliar de pimenteiras ornamentais - Calypso. (Segatto, 2008).

A produção e sensibilidade ao etileno podem ser consideradas os fatores mais importantes integrados aos efeitos pós-colheita deste regulador. As respostas de rosas, cultivar Osiana (*Rosa* × híbrida) à presença de etileno ao longo da vida pós-colheita demonstraram uma variação, pois a abertura do botão floral foi induzida por baixas concentrações de etileno ($0,1$ e $1,0 \mu\text{L L}^{-1}$), sem afetar a vida pós-colheita das flores. Entretanto, em concentração igual ou superior a $10 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno houve redução acentuada da longevidade,

proporcionando o desenvolvimento de necrose, murcha e abscisão precoce das pétalas (Figura 2) (Cordeiro et al., 2011).



Figura 2 - Efeito do etileno sobre a abertura e senescência da flor de rosa 'Osiana' das hastes controle aberto sem etileno (T1), controle do sistema fechado (T2), 0,1 (T3), 1,0 (T4), 10 (T5), 100 (T6) e 1000 $\mu\text{l l}^{-1}$ etileno (T7), por 24 horas.
Fonte: Cordeiro et al. (2011).

2. EFEITOS DO ETILENO

Os frutos podem ser classificados em climáticos e não-climatéricos, com base na intervenção do etileno durante a maturação. Durante o amadurecimento dos frutos há um aumento da respiração e produção de etileno caracterizando os frutos climáticos, sendo a produção desse hormônio necessária para finalizar o processo, além disso, esses frutos apresentam incrementos da expressão de

enzimas indutoras do etileno em aplicação desse hormônio. De forma contrária, em frutos não-climatéricos não há expressão dessas enzimas, sendo a resposta ao etileno externo dependente da concentração e tempo de exposição ao hormônio. Têm sido propostos dois sistemas de regulação do etileno em plantas superiores. O sistema de auto-inibição que é responsável por baixos níveis de etileno durante a fase pré-climatérica, enquanto o sistema autocatalítico que promove a síntese de etileno no estágio de amadurecimento.

Uma mesma resposta do etileno pode ser benéfica ou prejudicial à planta, dependendo do fruto. No processo de aceleração da degradação da clorofila, o amarelecimento de vegetais verdes pode ser visto como deletério pelos consumidores que priorizam a qualidade visual do produto, contudo, o desverdecimento em citros é considerado um benefício por resultar em produto atrativo ao consumidor. Outro processo é a promoção do amadurecimento, em que o amaciamento excessivo resulta em perda do produto, entretanto em frutos climatéricos estimula o amadurecimento da polpa. Inúmeros efeitos benéficos e deletérios do etileno em plantas podem ser citados (Tabela 1).



Tabela 1 - Efeitos benéficos e deletérios causados pelo etileno em frutos e vegetais

| Efeitos Benéficos | Efeitos Deletérios |
|--|--|
| Germinação de sementes | Aceleração da senescência |
| Redução da dominância apical | Amarelecimento de vegetais |
| Secreção de látex | Amaciamento excessivo |
| Alteração do sexo das flores em pepino | Amolecimento em pepino e pimentões |
| Desfolha de plantas | Endurecimento em aspargo e batata-doce |
| Promoção da floração em abacaxi | Abscisão de flores |
| Síntese de pigmentos | |
| Degradação de clorofila | |

Amadurecimento de Frutos

O papel principal do etileno está na senescência, incluindo o processo de amadurecimento dos frutos. Um grande número de mudanças fisiológicas ocorrem durante o amadurecimento dos frutos, como mudanças de cor resultantes da transformação de cloroplastos em cromoplastos, degradação de clorofila e acúmulo de pigmentos como caroteno e licopeno. Alterações na textura do fruto, como perda da firmeza devido a alteração da celulose, hemicelulose e pectina. E ainda, o acúmulo de açúcares como glicose e frutose e produção de compostos voláteis responsáveis pelo sabor e aroma do fruto. As modificações citadas podem ser atribuídas pela ação de enzimas específicas ativadas pelo etileno durante o amadurecimento (Tabela 2).

Tabela 2 – Enzimas ativadas após tratamento com etileno

| LOCAL/ESPÉCIE | ENZIMAS |
|----------------------|--------------------------------|
| Fruto Abacate | ACC oxidase |
| Tabaco | Arginina descarboxilase |
| Sementes, Arroz | α -amilase |
| Raiz, Cenoura | β -galactosidase |
| Semente, Ervilha | β -1,3-gluconase |
| Fruto, Pimenta | β -cianoalminina sintase |
| Fruto, Limão | Cloroflase |
| Girassol | Celulase |
| Fruto, Tomate | Invertase |
| Fruto, Pepino | Peroxidase |
| Fruto, Tomate | Proteinase |
| Raiz, Batata | RNA polimerase |
| Folhas, Feijão | Superóxido dismutase |

Adaptado de Chaves & Mello-Farias, 2006.

Abscisão

Em plantas envasadas, os danos causados pelo etileno são queda de botões, flores e folhas, amarelecimento das folhas e descoloração das flores, enquanto em flores de corte os principais são murchamento e tombamento das hastes.

Nos processos de senescência e abscisão ocorre interação entre auxina e etileno, em que há um enfraquecimento da parede celular pela ação das enzimas celulase e poligalacturonase. Inicialmente, um gradiente de auxina na camada de abscisão torna o local insensível ao etileno, mantendo a folha intacta. Como a senescência é um processo geneticamente programado, o local de abscisão reduz o gradiente de auxina e o etileno então ativa genes responsáveis por codificar enzimas específicas da degradação da parede celular, culminando no afrouxamento da parede e queda.

A sensibilidade ao etileno nas plantas é geralmente fixado em nível de família de plantas, mas podem existir diferenças marcantes entre e dentro de plantas de uma mesma espécie e entre cultivares que variam de insensíveis a altamente sensíveis. Diferentes níveis de sensibilidade entre genótipos de pimenteira ornamental foram observadas, sendo a cultivar Calypso a mais sensível e a cultivar MG menos sensível (Figura 3).

A ocorrência de variação na sensibilidade ao etileno foi observada em diferentes genótipos de flores de *Chenopodium* (Macnish et al., 2004). Esse fato pode ser justificado pela diferença entre o número e afinidade dos receptores, ativando a transdução de sinais no tecido. Como mencionado, a redução no fluxo de auxina aumenta a sensibilidade dos tecidos ao etileno. Nesse sentido, outra possível explicação para as diferenças na sensibilidade ao etileno seria a exposição de alguns genótipos ao déficit hídrico e baixas e altas temperaturas que reduzem a síntese de auxina, tornando a zona de abscisão sensível ao etileno.

Em flores não-climatéricas apesar de não ocorrer aumento na produção de etileno e respiração esse hormônio pode ter efeitos danosos em outras partes da planta como bulbos e rizomas. No caso de flores de íris, mesmo as pétalas sendo insensíveis ao etileno, o tratamento com concentrações muito baixas inibem a abertura floral e o crescimento do pedúnculo floral. Em outros casos, o etileno pode induzir a abscisão de flores ainda não senescentes como em Geraniaceae, Ranunculaceae e Rosaceae.



Figura 3 – Plantas de pimenteiras ornamentais expostas a $10 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno por 48 horas.

Um dano severo que diminui a qualidade pós-colheita e compromete a durabilidade de flores de corte é o “bend neck”, caracterizado pelo elevado índice de curvatura, podendo ser acompanhado pelo murchamento e descoloração das flores. Em flores comestíveis de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) submetidas a $100 \mu\text{L L}^{-1}$ de etileno após 24 horas da aplicação do tratamento apresentaram murchamento e elevado índice de curvatura (Figura 4).



Figura 4 – Flores de capuchinha. Fonte: Silva, T. P. Informação pessoal

Desverdecimento

Apesar dos efeitos danosos provocados pelo etileno em diversas espécies, sua utilização pode ser benéfica em processos como o desverdecimento em citros. Em casca de frutos de laranja colhidas em dois estádios de maturação, o etileno estimulou a coloração do fruto para amarelo-pálido, além disso, foi constatado o envolvimento do etileno na regulação de genes da biossíntese de carotenóides durante a maturação dos frutos, mesmo em se tratando de frutos não-climatéricos (Rodrigo & Zacarias, 2007).

Também ocorre resposta distinta na eficácia do desverdecimento em cultivares de citros; em que cultivares mais sensíveis, o etileno é eficiente em induzir a expressão do gene da enzima ACC,

além do incremento da expressão dos receptores ETR1, ETR2 e ETR3 (Figura 5, John-Karuppiyah & Burns, 2010).



Figura 5 - Variação no desverdecimento em duas cultivares de citros tratadas com etileno (Fonte: John-Karuppiyah & Burns, 2010).

Tríplice Resposta

O etileno também é responsável pela tríplice resposta em plântulas de muitas dicotiledôneas, que consiste da inibição do alongamento de raízes e do hipocótilo, engrossamento do hipocótilo e uma exagerada curvatura do gancho plumular (Figura 6). Esta forma de gancho promove a emergência da plântula sem que ocorram danos ao meristema apical ao entrar em contato com o solo. O formato fechado do gancho plumular ocorre devido ao rápido alongamento do lado externo do caule em relação ao interno. Quando o gancho plumular é exposto à luz branca, ele abre em decorrência do aumento na taxa de alongamento do lado interno, igualando as taxas de crescimento de

ambos os lados. O fotorreceptor envolvido no processo de abertura do gancho é o fitocromo, pois a luz vermelha promove a abertura do gancho, enquanto a luz vermelho-distante reverte o efeito da vermelha. Assim, o fitocromo e o etileno interagem no controle da abertura do gancho plumular, sendo o etileno responsável por inibir o alongamento das células do lado interno quando as plântulas estão no escuro e a luz vermelha inibe a formação do etileno, promovendo o crescimento do lado interno.

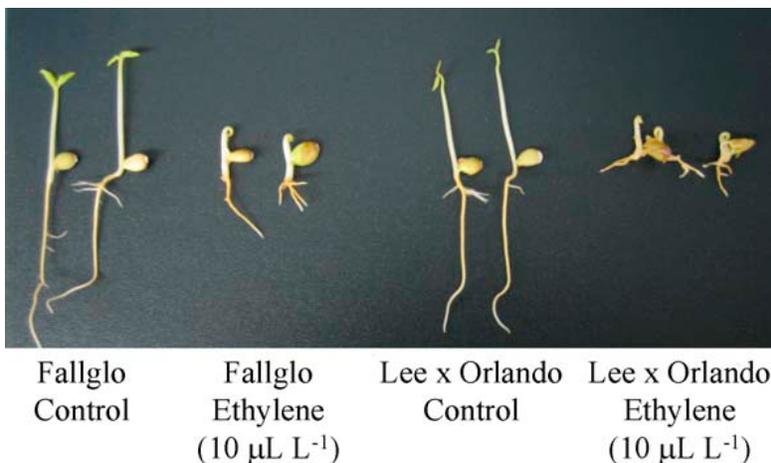


Figura 6 - Tríplice resposta em plântulas de citros (Fonte: John-Karuppiiah & urns, 2010).

Germinação de Sementes

Os possíveis mecanismos de ação do etileno durante a germinação de sementes são a interação com reguladores de crescimento e síntese e secreção de várias enzimas. O etileno aumentou a taxa de germinação de sementes de várias espécies, modulando o metabolismo celular de maneira a promover o alongamento embrionário, como observado em sementes de *Arabidopsis thaliana*, amendoim, aveia, *Brassica rapa*, grão-de-bico, alface, tabaco, arroz e ervilha (Tonini, 2008).

De acordo com Bisognin *et al.*, (2007) a quebra de dormência de tubérculos de batata (*Solanum tuberosum*) é promovida pelo balanço entre inibidores (ácido abscísico) e promotores (citocininas, auxinas, giberelinas e etileno) de crescimento, sendo que a brotação ocorre quando há um balanço favorável dos promotores em relação aos inibidores. Os mesmos autores relataram que o etileno pode estimular a síntese de giberelina resultando em síntese de enzimas responsáveis pela superação da dormência e confirmaram que o etileno promove a quebra de dormência e crescimento inicial dos brotos de batata.

Em alguns casos os hormônios vegetais podem interagir entre si e desempenhar papéis fundamentais no desenvolvimento das plantas. A associação entre os hormônios vem sendo testada, estudada e discutida em vários trabalhos. No caso de sementes de atemóia, Oliveira *et al.* (2010) constataram efeito sinérgico entre giberelina e etileno no processo germinativo, melhorando a porcentagem, velocidade e uniformidade da germinação. Do mesmo

modo, Bevilaqua *et al.* (1998) observaram resultados positivos na interação da giberelina e etileno em sementes de cenoura. Houve aumento da velocidade e porcentagem de germinação e elevação do metabolismo das sementes e do vigor das plântulas, além do aumento da atividade da enzima α -amilase, enzima essencial no processo germinativo. O etileno também pode interferir na anulação da dormência causada pelo ABA, reprimindo a expressão de genes envolvidos na sinalização do ABA. Além disso, o etileno promove a síntese de uma proteinase inibida por ABA durante a germinação (Tonini, 2008). O etileno e o ABA partilham elementos de transdução de sinal, sendo o etileno responsável por regular negativamente a dormência por reprimir a expressão de genes responsáveis pela sinalização do ABA.

Produção de Etileno induzida Por estresse

Pesquisas relatam sobre a interação do ácido abscísico e etileno sob condições de estresse hídrico, em que plantas com deficiência em ABA e com estresse hídrico, apresentaram aumento expressivo de etileno, sendo esse efeito impedido quando os níveis de ABA encontraram-se normais (Spollen *et al.*, 2000).

A síntese de etileno aumentada em resposta aos danos mecânicos induz o aumento no metabolismo dos fenilpropanóides que resulta no acúmulo de compostos fenólicos e subseqüentemente, escurecimento do tecido.

Defesa da Planta

Juntamente com o ácido salicílico o etileno pode agir no processo de defesa da planta contra agressão. O etileno é liberado após a injúria e associado ao metil jasmonato atua na expressão de proteínas de defesa. Em alguns casos o etileno parece estar envolvido com resposta de defesa para alguns agentes patogênicos e pode suprimi-los. Tem sido sugerido que o etileno ajuda a limitar a dispersão do agente patogênico, fazendo com que a queda das folhas não agrave os sintomas da doença.

Epinastia

A auxina também está envolvida com o etileno na indução da epinastia, caracterizada pelo crescimento assimétrico foliar. Esse fenômeno ocorre em plantas de dicotiledônea inundadas, resultando em redução drástica de oxigênio ao redor das raízes, inibindo assim a conversão do ACC em etileno. O ACC acumulado nas raízes é então transportado para a parte aérea e convertido em etileno.

3. ANÁLOGOS, ABSORVEDORES E LIBERADORES

Substâncias análogas, como acetileno e propileno, mimetizam a ação do etileno, induzindo a autocatálise do mesmo quando aplicado em frutos no estágio pré-climatério. Entretanto, essas

substâncias têm menor atividade que o hormônio, sendo necessárias maiores concentrações para se obter respostas semelhantes às aquelas observadas pelo uso regulador (Tabela 3).

Assim, alguns requerimentos interferem na efetividade, uma vez que: a) somente compostos alifáticos não saturados são ativos; b) presença de dupla ligação confere maior atividade do que ligação tripla ou simples ligação; c) hidrocarbonetos de cadeia curta são mais ativos que os de cadeia longa; d) atividade requer um átomo de carbono terminal adjacente ao carbono não saturado; e) duplas ligações no final da cadeia do hidrocarboneto são mais ativas que as localizadas no meio da molécula; f) carbono terminal não deve apresentar carga. A existência das substâncias análogas indica que a ação do etileno é mediada por um receptor. Uma das principais utilizações destes compostos é no amadurecimento, destacando-se a manga e banana, uma vez que os agricultores ou comerciantes armazenam os frutos debaixo de lona plástica, utilizando o gás acetileno.

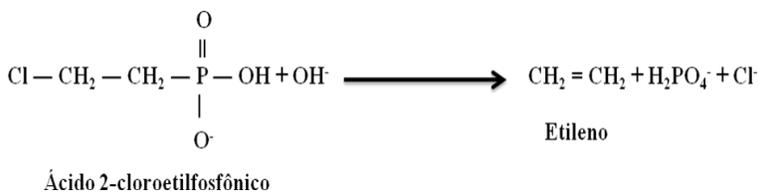
Tabela 3 - Comparação de resposta entre os análogos do etileno

| Estrutura | Compostos | Conc. para 50% da resposta máxima | |
|--|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | | $\mu\text{l/l}$ fase gasosa | M (em água) |
| $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ | Etileno | 0,1 | $4,8 \times 10^{-10}$ |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3- \\ \text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$ | Propileno | 10 | $5,2 \times 10^{-8}$ |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2- \\ \text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$ | 1-Buteno | 27000 | $1,3 \times 10^{-4}$ |
| $\text{C}\equiv\text{O}$ | Monóxido de carbono | 270 | $5,4 \times 10^{-8}$ |
| $\text{HC}\equiv\text{CH}$ | Acetileno | 280 | 1×10^{-6} |
| $\text{CH}_3-\text{N}\equiv\text{C}$ | Metil isocianida | 2 | --- |
| $\text{H}_2\text{C}=\text{C}=\text{CH}_2$ | Aleno | 2900 | $5,6 \times 10^{-5}$ |
| $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}$ | Furano | 9000 | $1,7 \times 10^{-3}$ |

Fonte: Sisler (1991)

O etileno é um dos hormônios mais utilizados na pré- e pós-colheita, visto que regula diversos processos fisiológicos. Entretanto, é de difícil aplicação, por ser um gás e apresentar alta taxa de difusão, sendo esta limitação superada por compostos que liberem o regulador. O produto mais utilizado é o Ethephon (ácido 2-cloroetilfosfônico), comercializado a partir de 1967 e conhecido por vários nomes comerciais, principalmente Ethrel[®], o qual é constituído

por ácido 2 cloroetil fosfônico 240 g.l⁻¹ e ingredientes inertes 865 g.l⁻¹. Este regulador de crescimento é um concentrado solúvel e estimulante do grupo químico ácido fosfônico. Quando aspergido em solução aquosa, é rapidamente absorvido e transportado no interior do vegetal, onde por meio de hidrólise, em pH ≥ 5, libera lentamente o etileno, cloreto e fosfato.



A utilização do ácido 2-cloroetil fosfônico tem por finalidade acelerar a maturidade de frutos, aumentar a coloração vermelha e o florescimento. Em cerejas, pode ser usado para aumentar a cor e ajudar no desprendimento do fruto; em abacaxi induz o florescimento uniforme e antecipado e em cana de açúcar acelera a maturação, inibindo o florescimento e permitindo o adequado manejo da cultura durante a colheita. Pereira & Fracaro (2004) objetivando avaliar a aplicação de diferentes doses de ethephon (0, 3, 6 e 9 l.ha⁻¹), antes da poda da uva 'niagara rosada' (*Vitis labrusca* L.), verificaram que a maior concentração proporcionou cachos e bagas maiores e com maiores pesos, comprimento e largura, melhorando o aspecto dos mesmos. Além disso, Moura et al. (1998), em estudo de amadurecimento realizado com tomates 'Santa Clara' no estádio salada, aplicando-se distintas doses de ácido 2-cloroetil fosfônico,

sem e com espalhante adesivo, verificaram que a pulverização com 1000 mg.l⁻¹ do produto, com o uso de espalhante adesivo, causou ligeiro atraso na maturação dos frutos em relação aos tratados sem espalhante adesivo. É importante destacar que o ethephon pode ser tóxico ao corpo humano com ingestão superior a 4,5 mg/dia.

Uma vez que o etileno é perdido dos tecidos com facilidade, podendo afetar outros tecidos e órgãos, causando efeitos indesejáveis, alguns absorvedores deste hormônio têm sido utilizados, visando a captura durante o armazenamento de frutos, verduras e flores. Dentre os mais empregados, destacam-se o carvão brominado, alumina e permanganato de potássio (KMnO₄). Este último pode reduzir de 250 para 10 µl l⁻¹ a concentração deste hormônio nos locais de armazenamento de maçãs, aumentando a durabilidade do produto.

Os absorvedores de etileno à base de KMnO₄ são utilizados na forma de sachês impregnados com materiais como vermiculita e perlita (Ferreira, 2009). Sem entrar em contato com o produto, este composto tem a finalidade de reduzir a concentração de etileno do ambiente de armazenamento por oxidação (Caron, 2009). O processo inicia-se com a oxidação do etileno (CH₂CH₂) a acetaldeído (CH₃CHO), o qual é oxidado a ácido acético (CH₃COOH). Posteriormente, se houver quantidades suficientes de KMnO₄ para continuar a reação, o ácido acético é oxidado a dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O) (Sorbentsystem, 2012). Após a reação, o KMnO₄ passa da cor violeta ao marrom, indicando que os sachês devem ser trocados (Ferreira, 2009).

A utilização de sachês contendo *pellets* (10 g) impregnados com absorvedor de etileno à base de KMnO₄, visando a preservação da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' armazenadas em câmara

fria e em temperatura ambiente, promoveu redução da concentração de etileno no interior da embalagem. Isto ocasionou maior retenção de cor verde na casca e de firmeza de polpa, bem como menor incremento no teor de sólidos solúveis nos frutos, demonstrando ser uma alternativa viável para a preservação da qualidade desses frutos, imediatamente após a colheita, durante o transporte refrigerado, na exportação de maçãs, bem como durante a comercialização, em temperatura ambiente (Amarante & Steffens, 2009). Efeito semelhante foi verificado para couve-flor cultivar Teresópolis Gigante, pois o uso de sachês de KMnO_4 foi eficaz na manutenção da cor verde da cabeça e das folhas (Brackmann *et al.*, 2005).

O tratamento com 1 g de KMnO_4 associado ao filme PVC foi eficaz em retardar em até 12 dias a contaminação por fungos e conservar frutos de morangos (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Oso Grande) durante 12 dias, a 4°C (Figura 7) (Oliveira, 2011).



Figura 7 - Aparência de morangos cultivar Oso Grande ao final do período de 14 dias de armazenamento a 4°C. A: (controle 1) bandeja+PVC, B: (controle 2) bandeja sem PVC e C: bandeja+PVC+sachê de KMnO_4 . Fonte: Oliveira (2011).

4. ROTA BIOSSINTÉTICA

O etileno é produzido em todas as partes das espermatófitas, com destaque para os órgãos senescentes e frutos em amadurecimento, ápices caulinares de plântulas, bem como caules deixados horizontalmente. Contudo, a taxa de produção depende do tipo de tecido e da fase de desenvolvimento. O transporte fisiológico de etileno ocorre através do xilema na forma de seu precursor biossintético, o ácido 1-aminociclopropano carboxílico (ACC). Além das plantas, bactérias e fungos também produzem este hormônio, contribuindo para o conteúdo deste nos solos.

Três enzimas chaves participam da biossíntese de etileno (Figura 8): adenosil metionina sintetase, que produz S-adenosilmetionina (SAM) a partir de metionina e ATP; ácido 1-aminociclopropano carboxílico sintase (ACC sintase) que catalisa a conversão do S-adenosilmetionina para ACC e 5'- metiltioadenosina; ácido 1-aminociclopropano carboxílico oxidase (ACC oxidase) que requer Fe^{2+} e ascorbato como cofatores para oxidar ACC em etileno, liberando cianeto. Outra importante reação é o chamado Ciclo de Yang (Figura 9), que recupera o enxofre e ressintetiza o SAM, além de reciclar 5'- metiltioadenosina para metionina, permitindo altas taxas de produção de etileno quando há uma baixa concentração intracelular deste aminoácido.

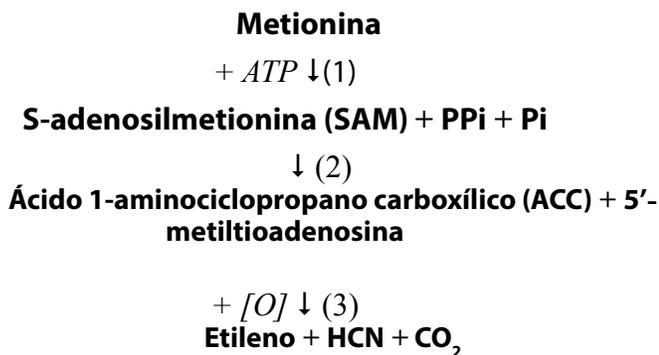


Figura 8 - Rota biossintética do etileno. (1) adenosil metionina sintetase, (2) ácido 1-aminociclopropano carboxílico sintetase, (3) ácido 1-aminociclopropano carboxílico oxidase.

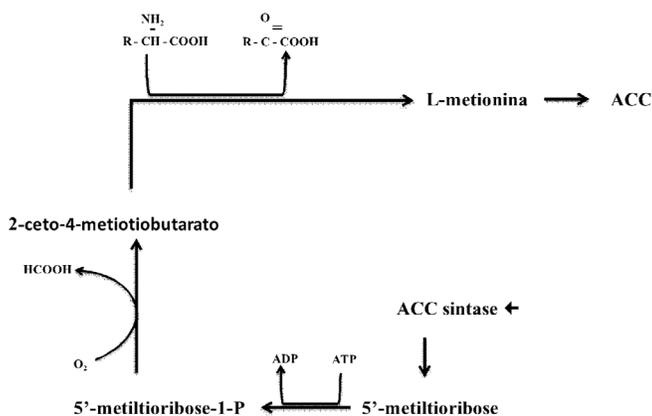


Figura 9 - Ciclo de Yang. (Abeles *et al.*, 1992).

ACC sintase é uma enzima citossólica, com peso molecular de 45-58 kDa, que catalisa a produção de ACC a partir do SAM, passo limitante da rota biossintética do etileno. O *K_m* para o SAM está entre 13 e 60 μM e pH de 8,5. Quando pura, tem atividade de $2-4 \times 10^{-5}$ unidades/mg de proteína (1 unidade = 1 nmol de ACC produzido/hora a 30 °C). Corresponde a uma proteína codificada por genes divergentes, os quais são diferencialmente regulados por vários indutores da biossíntese do etileno. As isoenzimas presentes no citossol são seletivamente codificadas por uma família multigênica em resposta à auxina, ao amadurecimento, à abscisão de flores, ao dano mecânico, ao estresse e aos fatores de desenvolvimento e fisiológicos (Imaseki, 1991).

A enzima ACC sintase utiliza piridoxal-5-fosfato como cofator. Assim, é inibida por análogos vinilglicina, como aminoetoxivinilglicina [AVG = $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH:CH-CH(NH}_2\text{)-COOH}$], rizobiotoxina [$\text{HOCH}_2\text{-CH(NH}_2\text{)-CH}_2\text{-O-CH:CH-CH(NH}_2\text{)-COOH}$] e por análogos hidroxilamina, como L-canalina [$\text{H}_2\text{NO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH(NH}_2\text{)-COOH}$], ácido α -aminooxiacético [AOA] e ácido 3-aminooxipropiônico. Estas substâncias são usadas experimentalmente para prevenir a produção de etileno, mas não são específicas, inibindo aminotransferases e aminoácidos descarboxilases, que têm funções essenciais no metabolismo de nitrogênio.

A enzima ACC oxidase pertence à superfamília do Fe^{2+} /ascorbato oxidase, necessitando destes elementos para sua atividade, bem como de dois substratos: O_2 e ACC, sendo que o *K_m* para ACC depende da concentração de oxigênio e varia de acordo com o tecido vegetal. A enzima é reversivelmente ativada por CO_2 e inibida por

Co²⁺, Ni²⁺, desacopladores da fosforilação oxidativa (2,4-DNP e FCCP), poliaminas e análogos estruturais do ACC, além de alta temperatura, choque osmótico e frio e substâncias lipofílicas, como fosfolipase D, Tween 20, dodecilssulfato de sódio, Triton X-100 e ácidos graxos, os quais alteram química e fisicamente as propriedades e estruturas das membranas.

Existem dois tipos de produção de etileno em frutos: o sistema I e o sistema II. O primeiro corresponde à baixa produção de etileno que ocorre no período pré-climatérico de frutos climatéricos e ao longo de todo o desenvolvimento e amadurecimento de frutos não-climatéricos. Já o sistema II relaciona-se à produção massiva de etileno, causada pelo próprio hormônio, chamada síntese autocatalítica. Esse último ocorre especificamente nos frutos climatéricos (Bapat *et al.*, 2010). A produção do etileno autocatalítico separa o período pré-climatérico de crescimento e o subsequente período de amadurecimento durante o desenvolvimento de frutos climatéricos (Abeles *et al.*, 1992).

Tanto frutos climatéricos como não-climatéricos são sensíveis ao etileno externo, sendo que os primeiros produzem o etileno autocatalítico em resposta à aplicação do gás e frutos não-climatéricos apresentam magnitude de resposta de acordo com a concentração e o tempo de exposição ao hormônio. Em morangos, a taxa respiratória foi proporcional à concentração de etileno aplicada (Tian *et al.*, 2000) e em laranjas, quanto maior foi o tempo de exposição ao etileno externo, maior a redução da cor verde da casca dos frutos (Sdiri *et al.*, 2012).

Uma vez produzido, o etileno pode ser usado na pós-colheita, de maneira benéfica, para induzir o amadurecimento de frutos e o desverdecimento de citros, principalmente quando o fruto se desenvolve em regiões com noites quentes. Entretanto, o uso do etileno deve ser feito com conhecimento e cuidado, uma vez que pode ocorrer o desenvolvimento de injúrias que reduzem a qualidade do fruto. Portanto, este regulador pode causar efeitos prejudiciais após a colheita de frutos por acelerar a senescência, promovendo a redução excessiva de firmeza, o escurecimento e o amarelecimento. Entretanto, é possível minimizar os efeitos deletérios do etileno através da inibição da sua síntese, da ação e da redução da sensibilidade ao etileno.

5. FATORES QUE INTERFEREM NA PRODUÇÃO DE ETILENO

A síntese de etileno é estimulada por vários fatores, incluindo o estágio de desenvolvimento, outros hormônios vegetais, lesões físicas e químicas, além de condições ambientais e ritmos circadianos, uma vez que ocorrem picos durante o dia e mínimo durante a noite.

Os ritmos circadianos afetam a produção de etileno, pois o sistema estomático não é muito adequado aos hormônios gasosos, já que a abertura e fechamento dos estômatos podem causar flutuações diárias na concentração interna do regulador. As plantas desenvolveram um mecanismo compensatório para amenizar os ciclos de dia/noite referentes à concentração interna de etileno, visando

conciliar regulação do crescimento e movimento estomático. Assim, a maioria dos fatores que controlam a abertura estomática, como status hídrico e $[CO_2]$ parecem ser candidatos ao controle do feedback da concentração interna de etileno

Os estresses abióticos, como déficit hídrico, alagamento, radiação excessiva, danos mecânicos, injúria por frio, cálcio-citocinina e anaerobiose, além de fatores bióticos, incluindo doenças, danos de pragas, amadurecimento e auxina promovem aumento na síntese de etileno, como resultado, pelo menos em parte, de uma elevação na transcrição do mRNA da ACC sintase

O oxigênio influencia a biossíntese de etileno por atuar como cofator da ACC oxidase. Outros fatores ambientais, como luz e dióxido de carbono, afetam a síntese de etileno. A luz inibe a síntese do hormônio nas células fotossintéticas, interferindo na conversão de ACC em etileno. O dióxido de carbono promove a produção, incrementando a conversão de ACC em etileno. Esta reação, catalisada pela enzima ACC oxidase, também é induzida pelo amadurecimento e fermentos, enquanto que dentre os inibidores destacam-se a anaerobiose, alta concentração de CO_2 , desacopladores, temperatura superior a $35^\circ C$, bem como os seqüestradores de radicais livres.

6. MECANISMO DE AÇÃO

A produção de etileno ocorre em todos os órgãos da planta e ele está envolvido na regulação de muitas respostas fisiológicas. Sua

produção é induzida na germinação de sementes, amadurecimento e senescência de frutos, abscisão de folhas e flores, estresse por injúria, baixa temperatura e estresse hídrico. Apesar do envolvimento desse hormônio em várias etapas do desenvolvimento da planta, a sensibilidade varia entre as espécies e entre cultivares da mesma espécie, pois a sensibilidade é dependente da presença do receptor nos tecidos. Devido aos efeitos do etileno em grande número de espécies de plantas, muitas pesquisas averiguam as diversas respostas, principalmente na agricultura e possíveis manejos que amenizem os efeitos indesejáveis.

O mecanismo de percepção do etileno ocorre com a ligação a uma molécula receptora, uma proteína de membrana, ETR1, que possui um sítio de ligação do fitormônio. O ETR1 é localizado no retículo endoplasmático e a ligação com o elemento cobre é necessária para o funcionamento do receptor. Em estudos com *Arabidopsis* constatou-se que esses receptores são codificados por famílias multigênicas semelhantes ao ETR1. Desse modo, para que ocorra a sinalização que resulta nos efeitos do etileno, todos os receptores devem ser regulados.

De forma simplificada o esquema receptor-etileno está exemplificado a seguir (Figura 10). Na ausência do etileno, os receptores encontram-se ligados e funcionam impedindo o desencadeamento da rota de sinalização. Já na presença do hormônio, ocorre o desligamento dos receptores que não mais bloqueiam a sinalização, assim, a resposta do etileno prossegue. Com isso, uma via de sinalização é formada por mensageiros secundários, que ao chegarem ao núcleo da célula, induzem a expressão gênica com

a formação de novos mRNAs e proteínas que desencadeiam a transcrição de genes específicos e síntese ou ativação de enzimas responsáveis pelos efeitos fisiológicos do etileno. Nesse contexto, a atuação dos receptores pode ser vista como reguladores negativos da via de transdução de sinal do etileno, pois são ativados na ausência de etileno inibindo a resposta.

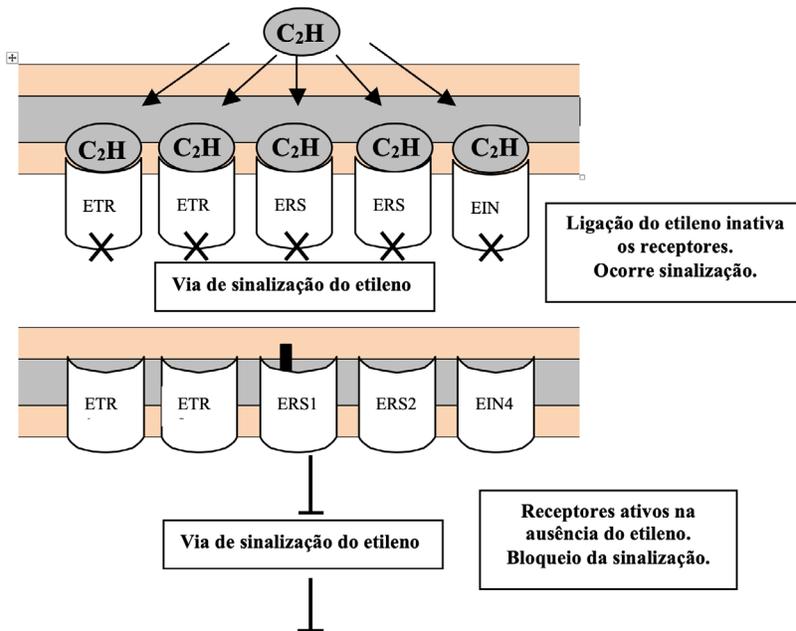


Figura 10 – Esquema receptor-etileno.

Respostas distintas das plantas ao etileno podem ser explicadas pelo grau de sensibilidade do tecido ao hormônio, que é dependente tanto da quantidade de receptores quanto pelo estágio de desenvolvimento do fruto. Em melão reticulado (*Cucumis melo L. reticulatus*), um fruto do tipo climatérico, mRNA dos receptores ETR1 e ERS1 se acumularam na placenta dos frutos e sementes durante o amadurecimento e no final do processo, houve redução dos níveis dos mesmos nos tecidos (Sato-Nara et al., 1999).

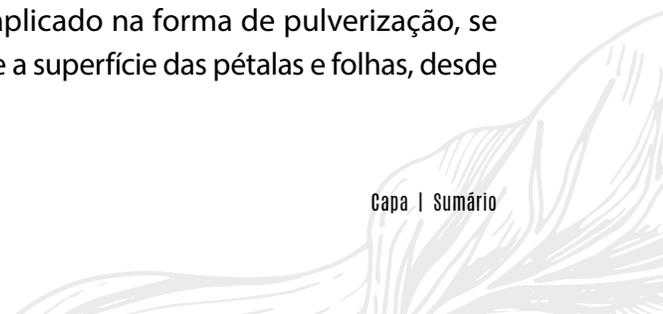
7. INIBIDORES DA SÍNTESE

Os biorreguladores têm sido muito empregados na pós-colheita, uma vez que permitem o controle e manipulação do crescimento vegetativo, regulação do florescimento e qualidade pós-colheita bem como a determinação da sensibilidade ao etileno, parâmetros estes que afetam a produção e pós-produção de produtos hortícolas, interferindo na economia. Dentre os compostos utilizados destacam-se a aminoetoxivinilglicina (AVG) e ácido aminooxiacético (AOA) que podem apresentar variadas formas de aplicação, como em soluções de *pulsing*, solução de manutenção além de pulverizações. Assim, o fornecimento destes biorreguladores pode ocorrer antes da colheita ou durante o armazenamento, sendo aplicados isolados ou em combinação com outros compostos, como, por exemplo, carboidratos.

O AOA é um potente inibidor de enzimas dependentes de piridoxal-fosfato, influenciando diversos processos fisiológicos, tais como, produção de etileno, fotossíntese, fotorrespiração, metabolismo secundário e florescimento. Assim, este composto vem sendo usado pelos floristas da Holanda na forma de solução de condicionamento como tratamento preservativo dos cravos (Serrano et al., 2001), uma vez que reduz a produção de etileno, por inibir a ACC sintase, enzima que converte S-adenosil-L-metionina (SAM) em ACC, no segundo passo da biossíntese de etileno (Yang e Hoffman, 1984).

Em virtude do AOA influenciar a rota biossintética do etileno, espera-se que promova um efeito positivo sobre o murchamento das flores, mas em alguns experimentos tal situação não ocorre de forma significativa ou ainda estimula tal parâmetro. O AOA a 1 mM não foi eficiente em atrasar ou prevenir a abscisão de flores de *Plectranthus* (Ascough et al., 2006). Bartoli et al. (1997) não constataram efeito significativo do AOA (1,0 mM), incluído em solução contendo ampicilina, sobre a senescência associada à deterioração da membrana plasmática de *Chrysanthemum morifolium* RAM cv. Unsei. Pulverizações com soluções de AOA (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 mM) não foram eficazes em prolongar a vida em vaso e em inibir a taxa de abscisão e murchamento das flores de *Consolida ajacis* (Finger et al., 2004).

Contudo, diversos trabalhos destacam a participação efetiva do AOA em processos do desenvolvimento e conservação de flores, já que é capaz de aumentar a vida em vaso de muitas flores de corte, pois seu ingrediente ativo, aplicado na forma de pulverização, se espalha uniformemente sobre a superfície das pétalas e folhas, desde



que em concentrações ideais (Gladon & David, 1986). A aplicação de AOA no estigma de flores de *Dendrobium 'Pompadour'*, antes da polinização, reduziu a produção de etileno, os níveis de ACC e a atividade da ACC sintase. Além disso, o referido composto atrasou a senescência prematura das flores polinizadas (Ketsa & Rugkong, 2006). Em rosas, a adição de 0,5 mM de AOA associada a 5% de sacarose, em solução de vaso, elevou a longevidade de 3 para 6,2 dias (Ketsa & Narkbua, 2001). Portanto, a efetividade do AOA parece depender da espécie e modo de aplicação. Na Holanda, o AOA vem sendo utilizado comercialmente na forma de solução de condicionamento como tratamento preservativo de cravos para reduzir a murcha prematura das pétalas (Serrano et al., 2001). Também foi observado que em orquídeas do gênero *Dendrobium*, a aplicação preventiva de 1,0 mM de AOA foi efetiva em inibir, em aproximadamente 55%, a produção de etileno induzida pela polinização das flores (Ketsa & Luangsuwalai, 1996).

Mapeli et al. (2009) visando determinar a influência do AOA sobre a longevidade de inflorescências de *Epidendrum ibaguense Kunth*, submetem-as ao condicionamento em 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 mM de AOA por 6, 12, 18 e 24 h, e à pulverização com as mesmas soluções, até o molhamento completo da inflorescência. Independente do tempo e da concentração de AOA, o condicionamento das hastes não prolongou a longevidade das flores em vaso. Entretanto, a pulverização promoveu incremento da vida de vaso, em aproximadamente 26% em comparação ao tratamento de condicionamento e ao controle, sendo que a pulverização com 1,5 mM de AOA causou uma vida de vaso de 8 dias (Figura 11).



Figura 11 - Efeito de diferentes concentrações de AOA, via pulverização, sobre a longevidade de inflorescências de *E. ibaguense*, após 5 dias de vaso.

(Fonte: Mapeli et al., 2009).

Convém ressaltar que outros inibidores de síntese são empregados na pós-colheita, como a aminoetoxivinilglicina (AVG) que corresponde a uma das alternativas para a conservação de flores. Esta substância é um aminoácido não-protéico, com a seguinte estrutura química: [S] – trans-2-amino-4-[2-aminoetoxi]-3- butenóico ($\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH=CH-CH(NH}_2\text{)-COOH}$) (Lieberman et al., 1975 in Brackmann et al., 2004). Inibe de forma competitiva e irreversível a ACC sintase, porém, a magnitude da eficiência do inibidor depende da concentração utilizada. A AVG é comercialmente registrada como regulador de crescimento ReTain (Valent BioSciences Corporation, Libertyville, Illinois, USA) para aplicação em pré ou pós-colheita,

visando determinar a função do etileno na indução floral (Dukovski et al., 2006), senescência (Wang et al., 2001) e na pós-produção.

A aplicação pré-colheita de AVG (0, 90, 120 mg l⁻¹) possibilitou a preservação da qualidade de ameixas cultivar Laetitia, durante o armazenamento refrigerado (Steffens et al., 2011). Em maçãs 'Gala', a pulverização pré-colheita com AVG, nas doses de 0; 125 e 250 mg l⁻¹, inibiu o desenvolvimento de coloração vermelha e reduziu a permeância à perda de água na casca dos frutos (Amarante et al., 2010).

A utilização de AVG, na forma de solução de condicionamento ou *pulsing*, nas concentrações 0,5, 1, 1,5 e 2 mM promoveu aumento da longevidade das flores de *Epidendrum ibaguense* em aproximadamente 70% em comparação ao controle, com resposta máxima nas duas maiores concentrações. A percentagem de abscisão de flores foi reduzida em todos os tratamentos com AVG, principalmente quando se utilizou pulverização, com decréscimo na abscisão acumulada superior a 80% nas concentrações entre 1 e 2 mM de AVG (Mapeli et al., 2009).

Além dos papéis acima mencionados, a AVG tem sido empregada em experimentos para verificar a ação do etileno durante a resposta gravitropica, que ocorre em especial, quando as flores são armazenadas ou transportadas horizontalmente, sendo responsável pelo decréscimo na comercialização das mesmas. Woltering et al. (2005) empregando AVG para verificar o papel do etileno em tal fenômeno, concluíram que em *Artirrhinum majus* L. a produção diferencial do fitorregulador não desempenha papel essencial na cinética da curvatura gravitropica.

Apesar da utilização de inibidores da síntese de etileno, a planta continua sensível à ação do hormônio externo. Assim, estes compostos são menos utilizados em aplicações pós-colheita. Alguns extratores de etileno têm sido desenvolvidos, porém nenhum deles tem apresentado resultados totalmente satisfatórios, pois não reduzem as concentrações de etileno endógeno abaixo do nível de atividade biológica.

8. INIBIDORES DA AÇÃO

Uma vez que o etileno acelera o amadurecimento e pode causar redução na qualidade pós-colheita de frutos é interessante reduzir o seu efeito sobre esses produtos. Dessa maneira, as substâncias utilizadas como inibidores da ação do etileno atuam ligando-se ao sítio receptor na membrana celular. Dentre as várias substâncias com esse tipo de ação sobre as plantas, destacam-se o 2,5-Norbornadieno (2,5-NBD), diazociclopentadieno (DACP), íons prata (Ag^+), tiosulfato de prata (STS) e o 1-metilciclopropeno (1-MCP).

2,5-Norbornadieno (2,5-NBD)

O 2,5-Norbornadieno (2,5-NBD) é um composto líquido com baixo ponto de ebulição (89°C) que se vaporiza facilmente em temperatura ambiente, o que torna fácil a sua aplicação em plantas. O

seu uso comercial é limitado, já que possui odor muito desagradável (Serek *et al.*, 2006). Ele se liga ao receptor do etileno por um tempo maior que o próprio hormônio, sem induzir as respostas típicas. Em brotos de feijão, o 2,5-NBD se manteve ligado ao receptor por 3 a 6 horas, enquanto que o etileno permanece unido por 2 a 20 minutos, dependendo da espécie. Essa maior durabilidade da ligação evita que se desencadeiem as respostas ao hormônio (Sisler & Serek, 2003). Entretanto, para haver ação contra os efeitos do etileno o produto deve ficar em contínua exposição ao composto (Sisler, 2006). O uso de 2,5-NBD reduziu em 60% e 50% o desverdecimento de citros em atmosfera normal e em atmosfera contendo 5 $\mu\text{L.L}^{-1}$ de etileno, respectivamente (Goldschmidt *et al.*, 1993).

Diazociclopentadieno (DACP)

Outro inibidor da ação do etileno é o diazociclopentadieno (DACP), o qual se liga ao receptor e, na presença de luz fluorescente, torna-se altamente ativo. A luz fluorescente decompõe o DACP em produtos que são ainda mais efetivos em bloquear os receptores do etileno. Entretanto, este composto apresenta elevada capacidade de explosão, o que torna seu uso bastante limitado (Sisler & Serek, 2003). Frutos de tomate colhidos em diferentes estádios de maturação e tratados com DACP tiveram atraso no desenvolvimento da cor, produção de CO_2 e etileno (Sisler & Lallu, 1994). De acordo com Blankenship & Sisler (1993) maçãs tratadas com DACP apresentaram um decréscimo na produção de etileno e na perda de firmeza, se comparadas às não tratadas com DACP. Este inibidor também reduz a

incidência de sintomas de injúria por frio, o que pode ser observado em maçãs armazenadas durante 1 mês a 0°C e transferidas para ambiente com temperatura a 20°C. Além disso, também promoveu diminuição na produção de etileno, respiração e na perda de firmeza (Gong & Tian, 1998).

Íons Prata (Ag⁺)

Os íons Ag⁺, na forma de nitrato de prata (AgNO₃) ou tiosulfato de prata (STS) apresentam a capacidade de inibir efetivamente a ação do etileno, contudo sua utilização restringe-se aos produtos não comestíveis. Além disso, em virtude do seu potencial de poluição ambiental, seu uso não foi difundido comercialmente. A ação dos íons está relacionada à troca dos íons Cu²⁺ nos receptores do etileno, o que impede a ligação do regulador (Knee, 1995). O tratamento com STS é imposto através de solução contendo o íon ou, devido à sua persistência e mobilidade, pode ser aplicado através de *pulsing*. Em plantas de vaso realiza-se pulverização com solução de STS. O uso dos íons Ag⁺ tem trazido efeitos benéficos a uma variedade de plantas de vaso e flores de corte (Serek et al., 2006).

Plantas de vaso da espécie *Schlumbergera truncata* tratadas com STS tiveram o tempo de vida de vaso prolongado. O mesmo ocorreu nas plantas de *Campanula carpatica* que também apresentaram maior quantidade de flores abertas e maior longevidade floral (Serek & Sisler, 2001). O tratamento com STS também aumentou em 5 dias a vida de vaso de flores cortadas de *Antirrhinum majus* L. (Asrar, 2012).

O mergulho de flores de capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) foi por 30 segundos, em solução contendo íons prata evitou a senescência, após 72 h de vida pós-colheita. Entretanto, quando a imersão ocorreu em soluções contendo Cu o efeito foi contrário, haja vista que este é um componente do receptor de etileno, necessário para a cascata de sinalização que promove a resposta biológica (Figura 12).



Figura 12 - Efeito de íons Cu^{2+} e Ag^{+} na conservação pós-colheita de flores de capuchinha, após 72 horas de armazenamento.

Fonte: Silva, T.P. da (informação pessoal).

1-metilciclopropeno (1-MCP)

Em virtude da toxicidade dos íons Ag^{+} , vem crescendo o número de pesquisas buscando alternativas ao uso destes em plantas sensíveis ao etileno. Recentemente, uma nova ferramenta foi incluída na lista de opções para estender a vida pós-colheita e a qualidade

de produtos hortícolas, o 1-metilciclopropeno (1-MCP). Seu potencial de uso como inibidor do etileno é uma descoberta recente e seu efeito sobre a maioria das plantas ainda deve ser testado. Assim, este composto destaca-se como uma opção para a manutenção da vida de prateleira e qualidade dos produtos vegetais, mostrando-se promissor não apenas para uso comercial como também nos programas de pesquisa para um melhor entendimento e desenvolvimento de novos estudos referentes às respostas ao etileno

O 1-MCP é um composto orgânico relativamente simples, que pertence ao grupo dos ciclopropenos. Apresenta peso molecular 54, fórmula C_4H_6 , sendo gasoso sob condições normais de temperatura e pressão, inodoro e não tóxico a baixas concentrações. O composto é comercializado com o nome EthylBloc[®], para plantas ornamentais, e SmartFresh[™], para vegetais e frutos. Em ambos os casos, o 1-MCP está presente na forma de pó, que quando dissolvido em água, é liberado como um gás. Sob condições normais de temperatura e pressão, o 1-MCP é liberado, em 20 a 30 minutos, mas a liberação total do gás pode demorar um pouco mais em baixas temperaturas. Segundo Blankenship & Dole (2003), a concentração de 1-MCP em um frasco fechado com material vegetal dentro, diminui com o tempo. Somente um terço do total permaneceu no frasco após 24 h, a 5°C. Após o período de exposição dos frutos 6 a 24 horas, estes devem voltar às condições normais de armazenamento (ar ou atmosfera controlada) (Vilas Boas, 2002).

Este produto está sendo desenvolvido, em nível mundial, pela Agrofresh Inc, subsidiária da Rohm and Haas Company, para o uso em tratamento pós-colheita em frutos, hortaliças e flores na formulação

de pó solúvel. É um produto bastante seguro, não tóxico, que não deixa resíduos ou estes estão presentes em quantidades abaixo dos limites detectáveis (Serek *et al.*, 2006; Sisler & Serek, 2003). Para o uso comercial as plantas devem receber o tratamento em áreas bem fechadas, o mais herméticas possível para evitar o escape do gás, o que reduzirá o efeito do 1-MCP. No caso de se realizar o tratamento em locais com grandes áreas recomenda-se um mecanismo de circulação de ar interno, desde que se evite a entrada de ar externo. Por fim, não é necessária a repetição do tratamento, sendo que, na maioria dos casos, a aplicação única é suficiente (Serek *et al.*, 2006).

No Brasil, o produto teve seu uso liberado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Portaria 345 de 11 de agosto de 2006 para aplicação única pós-colheita, em ambiente hermeticamente fechado, em frutos das culturas de abacate, ameixa, banana, caqui, goiaba, limão, maçã, mamão, manga, melão, kiwi e tomate. O mesmo ocorreu para flores de corte (cravo, crisântemo, gérbera, gipsófila, lírio e rosa) e flores de vaso (azaléia, crisântemo, lírio e violeta).

Em condições normais, o 1-metilciclopropeno liga-se às moléculas receptoras, provavelmente proteínas de membrana, inibindo a ação do hormônio, com uma afinidade 10 vezes maior que o próprio etileno, o que o torna ativo em concentrações muito menores do que as requeridas para desencadear a ação do regulador (Serek *et al.*, 2006; Blankensip & Dole, 2003). O hormônio gasoso age retirando elétrons de um metal presente no centro do sítio receptor causando um processo de substituição de ligantes que induz à resposta. O 1-MCP também deveria ser capaz de induzir uma

resposta similar à do etileno, uma vez que teoricamente atuaria da mesma maneira (Sisler & Serek, 1997). O inibidor liga-se fortemente ao receptor, impedindo a formação do complexo ativo, possibilitando um bloqueio efetivo e irreversível. Foi demonstrado que o 1-MCP se liga aos receptores de etileno com uma meia vida de difusão entre 7 e 12 dias, comparando com 2 a 10 minutos no caso do etileno. Assim que o complexo receptor do 1-MCP é metabolizado ou novos receptores são gerados a altas temperaturas, o processo é revertido (Pereira & Beltran, 2002).

O 1-MCP pode ser aplicado imediatamente após a colheita, durante o armazenamento e o transporte ou nos centros de distribuição. Para se obter o máximo de benefício no controle do amadurecimento e da senescência, o tratamento deve ser feito o mais próximo possível da colheita. Para fins de pesquisa, pequenos recipientes como tambores, caixas plásticas ou sacos plásticos, com espessura mínima de 60 mm, têm sido utilizados. A eficiência do 1-MCP em bloquear a ação do etileno é função da concentração, do tempo de tratamento, da espécie do estágio de desenvolvimento do órgão vegetal, bem como do tempo entre a colheita e a aplicação.

O 1-MCP tem sido considerado inibidor em potencial de vários processos dependentes do etileno, incluindo a redução significativa de perdas, pela manutenção das características de qualidade por maior tempo de armazenamento e comercialização; a possibilidade de misturar produtos com diferentes níveis de produção e sensibilidade ao etileno o aumento da competitividade no mercado; e a expansão da oportunidade de exportação (Pereira & Beltran, 2002). O tratamento com $0,5 \mu\text{l.l}^{-1}$ de 1-MCP retardou o desenvolvimento pós-colheita do

dano por frio e a perda da firmeza de polpa de ameixas 'Laetitia' (*Prunus salicina*) (Argenta et al., 2011). Este inibidor quando empregada na concentração 50 $\eta\text{l l}^{-1}$ atrasou o início do amadurecimento de bananas 'Maçã', armazenadas sob condição ambiente ($20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $80 \pm 5\%$ UR), baseando-se nas primeiras mudanças visíveis de coloração de verde para amarela, em aproximadamente 8 dias, enquanto as concentrações 100; 150 e 200 $\eta\text{l l}^{-1}$ atrasaram em aproximadamente 10 dias (Pinheiro et al., 2005).

Em hortaliças como tomate, o 1-MCP tem apresentado excelentes resultados no aumento da vida de prateleira de variedades tradicionais e melhoradas, possibilitando ao produtor planejar a produção, o transporte e a comercialização para localidades mais distantes (Zambolim, 2002). Segundo Serciloto *et al.* (2001), floretes de brócolis minimamente processados, tratados com 1-MCP e armazenados a 5°C , apresentaram aumento de até 200% em sua vida útil quando comparados aos não tratados. Frutos de berinjela tratados com 1-MCP apresentaram atraso na senescência do cálice devido à redução do seu escurecimento. Além disso, houve diminuição da perda de massa e maiores valores de firmeza nesses frutos (Massolo *et al.*, 2011).

O armazenamento de frutos de jiló (*Solanum gilo Raddi*) a 5°C , envoltos por filme de cloreto de polivinila (PVC), com uso de sachês de 1-MCP, proporcionou maior vida útil, elevando o período de armazenamento para 29 dias, enquanto que os frutos mantidos em bandejas sem filme de PVC ou em bandejas envoltas com filme de PVC sem sachê apresentaram durabilidade de 7 e 14 dias,

respectivamente. Além disso, houve menor perda de massa fresca e redução na intensidade dos sintomas de injúria por frio (Figura 13).

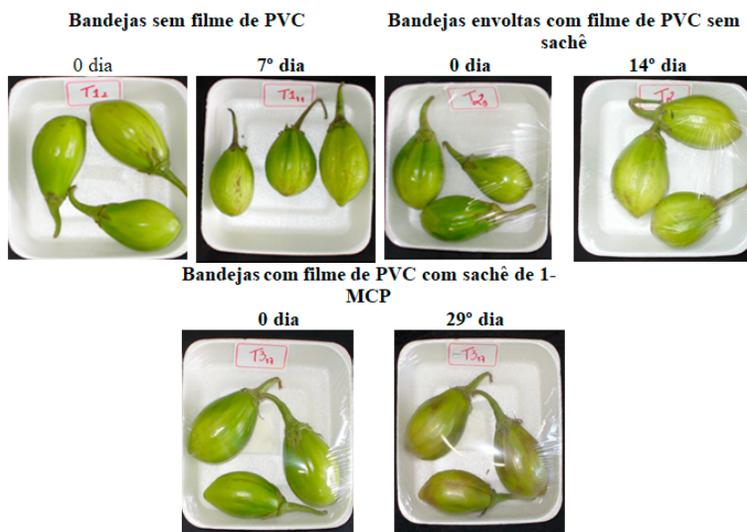


Figura 13 - Análise visual de frutos de jiló 'Tinguá', submetidos aos diferentes tratamentos, comparando-os com o primeiro e o último dia de armazenamento. (Fonte: Ferreira, 2009).

Este inibidor da ação do etileno também tem sido empregado em pesquisas visando prolongar a conservação de flores. O tratamento com 1-MCP ($0,5 \text{ g m}^{-3}$ de SmartFresh™) foi eficiente em retardar o início da abscisão de flores de esporinha (*Consolida ajacis*), mesmo quando 100 mg l^{-1} Ethrel foi pulverizado imediatamente após a aplicação do 1-MCP. Flores tratadas exclusivamente com 1-MCP ou tratadas antes do Ethrel tiveram a vida pós-colheita prolongada em 33% em relação

ao controle. Além disso, houve redução da eficiência do 1-MCP, em estender a longevidade, se aplicado após a pulverização com Ethrel, comparado com o tratamento de 1-MCP isoladamente ou 1-MCP seguido de Ethrel. Esse efeito demonstra que 1-MCP não foi capaz de bloquear completamente os receptores do etileno (Figura X) (Santos et al., 2005).

Tabela 4 - Efeito do etileno e 1-MCP na longevidade de flores de *Consolida ajacis*.

| Tratamentos | Longevidade (Dias) |
|----------------|--------------------|
| Controle | 4,5 c |
| Ethrel | 1,4 d |
| 1-MCP | 6,0 a |
| Ethrel + 1-MCP | 5,2 b |
| 1-MCP + Ethrel | 6,0 a |
| C.V. (%) | 11,7 |

Fonte: Santos et al., 2005.

Unemoto et al. (2011) avaliaram a longevidade de inflorescências do bastão do imperador [*Etilingera elatior* (Jack) R. M. Smith] pré-tratadas com 1-MCP em câmaras herméticas, nas concentrações 0; 1; 1,5 e 2,0 g m⁻³, por 24h, sendo posteriormente submetidas ao tratamento com Ethrel (100 µl l⁻¹), em câmaras herméticas pelo mesmo período. Os autores verificaram o 1-MCP foi eficiente em inibir a ação

promovida pelo Ethrel, sendo recomendado o uso na concentração de 1,5 g m⁻³.

No entanto, a aplicação de 1-MCP pode não interferir na vida pós-colheita dos produtos, ou ainda acarretar efeitos maléficos. Jiang *et al.* (2001) afirmaram que dosagens elevadas de 1-MCP aceleraram o desenvolvimento de doenças em morango, em função da inibição da síntese de fenilalaninaamônia-liase (PAL) e de compostos fenólicos.

9. ETILENO E BIOLOGIA MOLECULAR

Diante do mencionado, percebe-se que uma série de compostos químicos têm sido utilizada devido aos seus efeitos sobre a produção e percepção do etileno. Contudo, o uso da biologia molecular e engenharia genética tem possibilitado o desenvolvimento de produtos com características desejáveis na pós-colheita, pela modificação de características, como, inibição da produção de etileno, regulação da sensibilidade a este regulador, resistência às doenças, dentre outros, sendo uma alternativa para prolongar a vida de vaso de flores cortadas e para o uso de poluentes (Onozaki *et al.*, 2001; Kinouchi *et al.*, 2006). Atualmente, pesquisadores têm utilizado plantas transgênicas para reduzir a síntese de etileno, por meio de RNA anti-senso, co-supressão e RNA de interferência (RNAi). Estas técnicas são altamente eficientes, produzindo plantas com níveis reduzidos do gás e maior vida de vaso (Klee, 2005; Serek *et al.*, 2006). Bovy *et al.* (1999) constataram que o atraso na senescência de flores transgênicas *etr1*

de *Dianthus caryophyllus* L. 'Lena' foi maior do que naquelas pré-tratadas com AOA ou STS.

Além disso, a identificação de marcadores moleculares relacionados à vida de vaso pode ser uma importante ferramenta para melhorar a eficiência dos programas de cruzamento, utilizando-se *primers* específicos a fim de obter a amplificação de genes relacionados à biossíntese e ação do etileno (De Benedetti *et al.*, 2005).

10. REFERÊNCIAS

ABELES FB; MORGAN PW; SALTVEIT JR ME. 1992. *Ethylene in Plant Biology*. São Diego: Academic Press. 414p.

AMARANTE CVT; STEFFENS CA. 2009. O tratamento pré-colheita com AVG, aliado à absorção do etileno durante o armazenamento refrigerado, preserva a qualidade de maçãs 'Gala'. *Revista Brasileira de Fruticultura* 31: 334-342.

AMARANTE CVT; STEFFENS CA; BLUM LEB. 2010. Coloração do fruto, distúrbios fisiológicos e doenças em maçãs 'Gala' e 'Fuji' pulverizadas com aminoetoxivinilglicina. *Revista Brasileira de Fruticultura* 32: 09-18.

ARGENTA LC; AMARANTE CVT; SHIRAYAMA D; SCOLARO AMT; AYUB RA. 2011. Controle do escurecimento interno de ameixas durante o armazenamento pelo manejo do ponto de colheita e do etileno. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33: 376-385.

ARSHAD M; FRANKENBERGER WT Jr. 2002. *Ethylene: agricultural sources and applications*. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers. 342 p.

ASCOUGH GD; MTSHALI NP; NOGEMANE N; VAN STADEN J. 2006. Flower abscission in excised inflorescences of three *Plectranthus* cultivars. *Plant Growth Regulation* 48: 229–235.

ASRAR AA. 2012. Effects of some preservative solutions on vase life and keeping quality of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) cut flowers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 11: 29-35.

BAPAT VA; TRIVEDI PK; GHOSH A; SANE VA; GANAPATHI TR; NATH P. 2010. Ripening of fleshy fruit: molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances* 28: 94-107.

BARTOLI CG; GUIAMET JJ; MONTALDI ER. 1997. Ethylene production and responses to exogenous ethylene in senescing petals of *Chrysanthemum morifolium* RAM cv. Unsei. *Plant Science* 17: 15-21.

BLANKENSHIP SM; DOLE JM. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology* 28: 1-25.

BLANKENSHIP SM; SISLER EC. 1993. Response of apples to diazocyclopentadiene inhibition of ethylene binding. *Postharvest Biology and Technology* 3: 95-101.

BOVY AG; ANGENENT GC; DONS HJM; VAN ALTVORST AC. 1999. Heterologous expression of the *Arabidopsis etr1-1* allele inhibits the senescence of carnation flowers. *Molecular Breeding* 5: 301–308.

BRACKMANN A; BELLÉ RA; FREITAS ST de; MELLO AM. de. 2004. Qualidade de pré-colheita e vida de vaso de inflorescências de crisântemo 'Bronze Repin' com aplicação de aminoetoxivinilglicina. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia* 11: 206-214.

BRACKMANN A; TREVISAN JN; MARTINS GAK; FREITAS ST; MELLO AM. 2005. Qualidade pós-colheita de couve-flor 'Teresópolis gigante' tratada com etileno, absorvedor de etileno e 1-metilciclopropeno. *Ciência Rural* 35: 1444-1447.

BURG SP. 2004. Postharvest physiology and hypobaric storage of fresh produce. CABI Publishing. 654p.

CARON VC. 2009. *Conservação refrigerada de lima ácida 'Tahiti' em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio. Piracicaba: USP – ESALQ. 98p (Tese mestrado).*

CHAVES ALS; MELLO-FARIAS PC. 2006. Ethylene and fruit ripening: from illumination gas to the control of gene expression, more than a century of discoveries. *Genetics and Molecular Biology* 29: 508-515.

CORDEIRO DC; FINGER FL; SANTOS JS; KARSTEN J; BARBOSA JG. 2011. *Sensibilidade da rosa 'Osiana' ao etileno. Bragantia* 70: 677-681.

DE BENEDETTI L; BRAGLIA L; BRUNA S; BURCHI G; MERCURI A; SCHIVA T. 2005. PCR-based markers and cut flower longevity in carnation. *Acta Horticulturae* 683: 437-443.

DUKOVSKI D; BERNATZKY R; HAN S. 2006. Flowering induction of *Guzmania* by ethylene. *Scientia Horticulturae* 110:104- 108.

FERREIRA APS. 2009. *Conservação pós-colheita do jiló em embalagens ativas. Viçosa: UFV. 36p (Tese Mestrado).*

FINGER FL; CARNEIRO TF; BARBOSA JG. 2004. *Senescência pós-colheita de inflorescências de esporinha (Consolida ajacis). Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 533-537.

- GOLDSCHMIDT EE; HUBERMAN M; GOREN R. 1993. Probing de role of endogenous ethylene in the degreening of citrus fruit with ethylene antagonists. *Plant Growth Regulation* 12: 325-329.
- GONG Y; TIAN MS. 1998. Inhibitory effect of diazocyclopentadiene on the development of superficial scald in Granny Smith apple. *Plant Growth Regulation* 26: 117-121.
- IMASEKI H. 1991. The biochemistry of ethylene synthesis. In: MATTOO AK; SUTTLE JC. (eds). *The plant hormone ethylene*. Florida: Boca Raton-CRC Press. p. 1-41.
- JIANG Y; JOYCE DC; TERRY LA. 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biology and Technology* 23: 227-232.
- KETSA S; LUANGSUWALAI K. 1996. The relationship between 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid content in pollinia, ethylene production and senescence of pollinated *Dendrobium* orchid flowers. *Postharvest Biology and Technology* 8: 57-64.
- KETSA S; NARKBUA N. 2001. Effect of aminoxyacetic acid and sucrose on vase life of cut roses. *Acta Horticulturae* 543: 227-234.
- KETSA S; RUGKONG A. 2006. Ethylene production, senescence and ethylene sensitivity of *Dendrobium* 'Pompadour' flowers following pollination. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75: 149-153.
- KINOUCI T; ENDO R; YAMASHITA A; SATOH S. 2006. Transformation of carnation with genes related to ethylene production and perception: towards generation of potted carnations with a longer display time. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 86: 27-35.
- KLEE H. 2005. Transgenes, ethylene and postharvest applications. *Acta Horticulturae* 682: 291-297.

KNEE M. 1995. Copper reverses silver inhibition of flower senescence in *Petunia hybrida*. *Postharvest Biology and Technology* 6: 121-128.

MAPELI AM; FINGER FL; OLIVEIRA LS; BARBOSA JG. 2009. Longevidade de inflorescências de *Epidendrum ibaguense* tratadas com aminoetoxivinilglicina. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 258-262.

MAPELI AM; OLIVEIRA LS; FINGER FL; BARBOSA JG; BARROS, RS. 2009. Longevidade de inflorescências de *Epidendrum ibaguense* Kunth tratadas com ácido aminooxiacético. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental* 15: 37-42.

MASSOLO JF; CONCELLÓN A; CHAVES AR; VICENTE AR. 2011. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 59: 10-15.

MOURA MA; ZANIN SR; FINGER FL. 1998. Amadurecimento de tomate com pulverização de diferentes doses de Ethephon associado com espalhante adesivo. *Revista Brasileira de Armazenamento* 23: 11-14.

OLIVEIRA PS. 2011. Ação de absorvedores de etileno e de oxigênio na conservação pós-colheita de morango. Viçosa: UFV. 52p (Tese Mestrado).

ONOZAKI T; IKEDA H; YAMAGUCHI T. 2001. Genetic improvement of vase life of carnation flowers by crossing and selection. *Scientia Horticulturae* 87: 107-120.

PEREIRA FM; FRACARO AA. 2004. Efeito do ethephon na qualidade da uva 'niagara rosada' (*Vitis labrusca* L.), produzida na entressafra, na região de Jales-SP. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26: 254-257.

PEREIRA WSP; BELTRAN A. 2002. Mecanismo de ação e uso do 1-MCP – bloqueador de etileno, visando prolongar a vida útil das frutas. In: ZAMBOLIM, L. (ed). *Manejo integrado: fruteiras tropicais – doenças e pragas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 31-44.

PINHEIRO ACM; VILAS BOAS EVB; MESQUITA CT. 2005. Ação do 1-metilciclopropeno (1-MCP) na vida de prateleira da banana 'maçã'. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27: 25-28.

RODRIGO MJ; ZACARIAS L. 2007. Effect of postharvest ethylene treatment on carotenoid accumulation and the expression of carotenoid biosynthetic genes in the flavedo of orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 43:14-22.

SALTVEIT ME. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15:279-292.

SANTOS VR; FINGER FL; BARBOSA JG; BARROS RS. 2005. Influência do etileno e do 1-MCP na senescência e longevidade das inflorescências de esporinha. *Bragantia* 64: 33-38.

SATO-NARA K; YUHASHI K; HIGASHI K; HOSOYA K; KUBOTA M; EZURA H. 1999. *Stage- and tissue- specific expression of ethylene receptor homolog genes during fruit development in muskmelon*. *Plant Physiology* 119: 321-329.

SDIRI S; NAVARRO P; MONTERDE A; BENABDA J; SALVADOR A. 2012. *New degreening treatments to improve the quality of citrus fruit combining different periods with and without ethylene exposure*. *Postharvest Biology and Technology* 63: 25-32.

SERCILOTO CM; ARRUDA MC; VITTI MCD; KLUGE RAA; JACOMINO AP. 2001. Efeito do 1- MCP e do ácido giberélico na conservação de brócolis minimamente processado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 41, *Anais... Brasília: CBO*.

SEREK M; SISLER EC. 2001. *Efficacy of inhibitors of ethylene binding in improvement of the postharvest characteristics of potted flowering plants*. *Postharvest Biology and Technology* 23: 161-166.

SEREK M; WOLTERING EJ; SISLER EC; FRELLO S; SRISKANDARAJAH S. 2006. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnology Advances* 24: 368-381.

SERRANO M; AMORÓS A; PRETEL MT; MARTÍNEZ-MADRID MC; ROMOJARO F. 2001. Preservative solutions containing boric acid delay senescence of carnation flowers. *Postharvest Biology and Technology* 23: 133-142.

SISLER EC. 1991. Ethylene binding components in plants. In: MATTOO AK; SUTTLE JC. (eds). *The plant hormone ethylene*. Florida: Boca Raton-CRC Press. p. 81-99.

SISLER EC. 2006. The discovery and development of compounds counteracting ethylene at the receptor level. *Biotechnology Advances* 24: 357-367.

SISLER EC; LALLU N. 1994. Effect of diazocyclopentadiene (DACP) on tomato fruits harvested at different ripening stages. *Postharvest Biology and Technology* 4: 245-254.

SISLER EC; SEREK M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiologia Plantarum* 100: 577-582.

SISLER EC; SEREK M. 2003. Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology* 5: 473-480.

SORBENTSYSTEM. The problem: ethylene gas. Disponível em <http://www.sorbentsystem.com/epaxtech.html>. Acessado em 10 de fevereiro de 2012.

SPOLEEN WG; LENOBLE ME; SAMUELS TD; BERNSTEIN N; SHARP RE. 2000. Abscisic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production. *Plant Physiology* 122: 967-976.

STEFFENS CA; AMARANTE CVT; CHECHI R; ZANARDI OZ; ESPINDOLA BP; MENEGHINI AL. 2011. *O tratamento pré-colheita com aminoetoxivinilglicina ou ácido giberélico preserva a qualidade pós-colheita de ameixas 'Laetitia'*. *Bragantia* 70: 222-227.

TIAN MS; PRAKASH S; ELGAR HJ; YOUNG H; BURMEISTER DM; ROSS GS. 2000. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *Plant Growth Regulation* 32: 83-90.

UNEMOTO LK; FARIA RT; TAKAHASHI LSA; ASSIS AM; LONE AB. 2011. Longevity of torch ginger inflorescences with 1-methylcyclopropene and preservative solutions. *Acta Scientiarum* 33: 649-653.

VILAS BOAS EVB. 2002. *1-MCP: um inibidor da ação do etileno*. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS: PATOLOGIA PÓS-COLHEITA DE FRUTOS E HORTALIÇAS, 3. Anais...

WANG NN; YANG SF; CHARNG YY. 2001. Differential expression of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase genes during orchid flower senescence induced by the protein phosphatase inhibitor okadaic acid. *Plant Physiology* 126: 253-260.

WOLTERING EJ; BALK PA; *et al.* 2005. An auxin-responsive 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase is responsible for differential ethylene production in gravistimulated *Antirrhinum majus* L. flower stems. *Planta* 220: 403-413.

YANG SF; HOFFMAN NE. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 35: 155-189.

ZAMBOLIM L. 2002. *Manejo integrado: fruteiras tropicais – doenças e pragas*. Viçosa: UFV. 672p.

CAPÍTULO 4





CONTROLE DA PERDA PÓS-COLHEITA DE ÁGUA EM PRODUTOS HORTÍCOLAS

*Fernando Luiz Finger
Gerival Vieira*

1. INTRODUÇÃO

Frutos e hortaliças iniciam acelerado processo de deterioração no momento da colheita, porém a sua velocidade é determinada pela combinação de fatores internos e externos aos órgãos vegetais.

A temperatura e a umidade do ar são os fatores do meio, mais importantes na determinação da extensão da vida de prateleira dos produtos hortícolas. A respiração e a produção de etileno dos produtos hortícolas são influenciadas pela temperatura e, quando ocorrem em taxas elevadas, há redução do período de conservação de frutos e hortaliças, porém, em frutos climatéricos como banana e maçã, estas favorecem o desenvolvimento da qualidade organoléptica ideal para o consumo.

A colheita interrompe o suprimento de água para o órgão vegetal e, assim, a perda de água subsequente por perda de água por transpiração determina, em grande parte, a redução quantitativa e qualitativa dos produtos hortícolas. O murchamento

e, ou, enrugamento de frutos e hortaliças são os sintomas iniciais da excessiva perda de água. Além disso, pode ocorrer o aceleração da deterioração pelo aumento da taxa de algumas reações de origem predominantemente catabólica, como a degradação de clorofila.

2. NATUREZA E COMPOSIÇÃO DOS PRODUTOS HORTÍCOLAS

Os produtos hortícolas são oriundos de diferentes partes da planta e constituem estruturas morfológicas distintas, que podem ser classificadas em subterrâneas e aéreas.

2.1 Estruturas subterrâneas

Tubérculos e Rizomas - são considerados caules modificados e apresentam nós, entrenós, folhas e gemas. Estas estruturas funcionam como órgãos de reserva e, em espécies como batata (*Solanum tuberosum L.*), inhame (*Colocasia esculenta (L.) Schott*) e gengibre (*Zingiber officinale Roscoe*), são utilizados também para propagação vegetativa.

Raízes - em algumas plantas, estas são modificadas e funcionam como órgãos de armazenamento, contendo quantidades apreciáveis de amido ou açúcares solúveis. Os exemplos mais comuns são a cenoura (*Daucus carota L.*) e a batata-baroa (*Arracacia xanthorrhiza*

Bancroft). Outras estruturas formadas pelo hipocótilo-raiz também são encontradas neste grupo, como beterraba (*Beta vulgaris* L.) e cará (*Dioscorea* spp.).

Bulbos - apresentam o caule subterrâneo com entrenós curtos. São formados pelo entumescimento da base das folhas (bainha) devido ao armazenamento de substâncias de reserva. A cebola (*Allium cepa* L.) e o alho (*Allium sativum* L.) são os representantes mais conhecidos.

2.2 Estruturas aéreas

Folhas - a sua função primária, enquanto na planta, é a produção de carboidratos pela fotossíntese. Porém, o seu potencial fotossintético é reduzido após a remoção da planta; assim, a manutenção das suas funções vitais depende dos carboidratos armazenados nos tecidos. As espécies de interesse comercial mais comuns deste grupo são o espinafre (*Spinacea oleracea* L.), a couve-de-folha (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), o repolho (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), a couve-chinesa (*Brassica rapa* L. var. *pekinensis*), a alface (*Lactuca sativa* L.), o alho-porro (*Allium ampeloprasum* L.) e a cebola-de-cheiro (*Allium schoenoprasum* L.).

As hortaliças folhosas são órgãos que não armazenam quantidade expressiva de carboidratos e a falta de reserva energética reduz o potencial de armazenamento. Elas apresentam altas taxas

transpiratórias e, portanto, são suscetíveis à rápida desidratação após a colheita. O conseqüente fechamento dos estômatos das folhas não elimina as elevadas taxas transpiratórias observadas em produtos como alface, espinafre, couve-de-folha e cebola-de-cheiro.

Caules – são as estruturas de reserva que constituem o caule primário das plantas, como no aspargo (*Asparagus officinalis* L.) e nos brotos de bambu (*Bambusa* ssp). Esses produtos hortícolas geralmente apresentam menor taxa transpiratória que as folhas, mas possuem elevada respiração devido ao intenso crescimento dos tecidos.

Flores – geralmente, as inflorescências são compostas de tecidos metabolicamente ativos, porém com pequena capacidade de armazenar carboidratos e altamente suscetíveis à desidratação. Os representantes mais comuns deste grupo são a couve-flor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) e os brócolis (*Brassica oleracea* L. *italica*).

As inflorescências são órgãos efêmeros, portanto, as flores têm período relativamente curto de vida pós-colheita.

Frutos - são órgãos formados pelo crescimento determinado de diferentes partes das estruturas florais, porém apresentam reações bioquímicas semelhantes na maturação. Os frutos carnosos são divididos em dois grupos quanto ao comportamento da respiração durante o fenômeno da maturação: os climatéricos e não-climatéricos. Os climatéricos são aqueles que podem amadurecer quando destacados da planta, enquanto os não-climatéricos amadurecem

somente quando ligados à planta. De maneira geral, são órgãos que apresentam elevadas reservas de carboidratos ou lipídeos e são menos sensíveis à desidratação que folhas, caules e inflorescências. Bananas (*Musa spp.*), maçãs (*Malus sylvestris* Mill.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), melão (*Cucumis melo* L.) e mamão (*Carica papaya* L.) são exemplos de frutos climatéricos. Frutos como morango (*Fragaria ananassa* Duch.), laranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), pepino (*Cucumis sativus* L.), uva (*Vitis vinifera* L.), lichia (*Litchi chinensis* Sonn.) e abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) são classificados como não-climatéricos.

3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os frutos e as hortaliças são importantes fontes de nutrientes na alimentação humana, apresentando teores de água que variam de cerca de 75 a 94% (Quadro 1).

Embora a água seja o principal componente da matéria fresca de frutos e hortaliças, estes não toleram perdas elevadas de peso, sem que apareçam sintomas de murchamento e enrugamento da superfície. Em tubérculos, rizomas e bulbos, há necessidade de determinada perda de água imediatamente após a colheita, para assegurar menores perdas de peso ao longo do armazenamento.

Frutos e hortaliças em geral são fontes de carboidratos na forma de açúcares solúveis ou amido, mas geralmente fornecem baixa quantidade de proteínas ou lipídeos (Quadro 1). Porém, em

algumas variedades de abacate, o teor de lipídeos chega a atingir 20% da matéria fresca do fruto.

Quadro 1 - Composição química de alguns produtos hortícolas.

| Produto | Água | Carboidratos | Proteína | Lipídeos |
|----------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| (%) | | | | |
| Frutos: | | | | |
| Banana | 75,7 | 22,2 | 1,1 | 0,2 |
| Uva | 81,6 | 15,7 | 1,3 | 1,0 |
| Maçã | 84,4 | 14,5 | 0,2 | 0,6 |
| Laranja | 86,0 | 12,2 | 1,0 | 0,2 |
| Morango | 89,9 | 8,4 | 0,7 | 0,5 |
| Tomate | 93,4 | 2,8 | 0,9 | Traços |
| Hortaliças: | | | | |
| Batata | 75,8 | 20,8 | 2,1 | 0,1 |
| Repolho | 91,9 | 4,6 | 1,8 | 0,1 |
| Cebola | 92,8 | 5,2 | 0,9 | Traços |
| Alface | 93,4 | 2,5 | 2,1 | 0,3 |

Dados obtidos de Salunkhe & Desai (1984ab).

4. EFEITOS DA PERDA DE ÁGUA

4.1 Físicos

A redução da massa e o enrugamento do produto são considerados como sintomas iniciais da excessiva perda de água. Em temperatura constante, a perda de massa fresca apresenta correlação linear inversa com a umidade relativa (quando acima de 75%) para a maioria dos frutos e das hortaliças.

A Figura 1 mostra o efeito de diferentes teores de umidade do ar sobre a perda de massa em peras armazenadas a 0°C. A perda de massa do fruto foi inversamente proporcional à umidade relativa do ar, e a taxa de perda de massa mostrou uma aparente constância nos teores de umidade testados. Após 14 semanas de armazenamento, as perdas de peso acumuladas foram de 2,4; 1,0 e 0,7% em 75, 85 e 95% de umidade, respectivamente.

4.2 Fisiológicos

Além do efeito de redução do peso da matéria fresca do produto, a perda de água pós-colheita exerce profundos efeitos sobre a fisiologia dos produtos hortícolas. De maneira geral, perda de água excessiva afeta a respiração, produção de etileno, degradação de clorofila e induz alterações no padrão de síntese de proteínas.

A perda de água acentuada em frutos de banana induz aumento da respiração e da produção de etileno na fase pré-climatérica (Littmann, 1972; George et al., 1982). Perdas de peso de 5% induziram aumentos de 70 e 50% na respiração e produção de etileno, respectivamente, em bananas pré-climatéricas, quando comparadas com frutos que tiveram 0,5% de perda de peso (Finger et al., 1995).

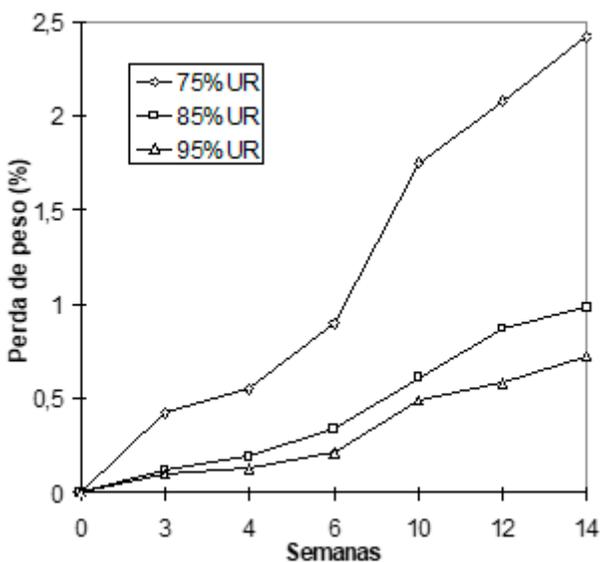


Figura 1 - Perda de peso de peras armazenadas a 0°C, por seis semanas, com umidade relativa de 75, 85 e 95%. Dados obtidos de Allen & Pentzer (1935).

Bananas colhidas no estágio pré-climatérico e armazenadas a 17°C e na umidade relativa de 30 a 40% tiveram a maturação

antecipada, em relação aos frutos armazenados em 95% de umidade relativa (Burdon et al., 1994). Quantificando a extensão da antecipação da maturação por causa da perda de peso em banana, Finger et al. (1995) observaram que perdas de peso de 5% anteciparam a maturação em sete dias, enquanto as de 10% reduziram o período pré-climatérico em 10 dias, em relação aos frutos que tiveram perdas acumuladas de peso de cerca de 1%.

5. PERDAS PÓS-COLHEITA

A perda de peso total pós-colheita dos produtos hortícolas é resultado do somatório da perda de água pela transpiração e da perda de matéria seca devida à atividade respiratória. Baseando-se nas taxas respiratórias desses produtos, vê-se que a perda de massa pela respiração situa-se entre 3 e 5% da perda total de massa observada na pós-colheita (Ben-Yehoshua, 1987). Portanto, a intensidade da transpiração pós-colheita determina, em grande parte, a taxa de perda de peso total dos produtos hortícolas.

O nível máximo de perda de peso aceitável para produtos hortícolas varia em função da espécie e do nível de exigência do mercado consumidor. Para a maioria dos produtos hortícolas frescos, a perda de peso máxima observada sem o aparecimento de murcha ou enrugamento da superfície oscila entre 5 e 10%. Em pimentão a perda de turgescência e enrugamento do fruto ocorre a partir de perda de massa fresca acumulada igual ou superior a 10% (Figura 2).

Quando a perda de peso acumulado for superior a 20%, há intensa degradação de clorofila, com conseqüente revelação da coloração laranja-avermelhada do pericarpo do fruto.



Figura 2 - Efeito da perda de água sobre a murchea e coloração de frutos de pimentão.

O Quadro 2 apresenta dados médios de perda de peso máximas em diversos produtos hortícolas, colhidos no estágio de maturidade ideal para consumo. Esses dados demonstram que há grande variação na quantidade de perda de peso máxima estabelecida para os diferentes produtos. Brócolis e couve-flor são produtos altamente sensíveis à desidratação e não toleram perdas de peso superiores a 4%. Por outro lado, produtos como cenoura, pimentão e tomate são mais tolerantes à desidratação, admitindo perdas de peso de 7 a 8%,

sem que apresentem sintomas de murcha ou enrugamento externo.

Quadro 2 - Perda de peso máxima da matéria fresca, em percentagem, admitida para produtos hortícolas.

| Produto | Perda de peso (%) |
|----------------|--------------------------|
| Hortaliças: | |
| Brócolis | 4 |
| Couve-flor | 4 |
| Alface | 5 |
| Cenoura | 8 |
| Frutos: | |
| Laranja | 5 |
| Maçã | 5 |
| Morango | 6 |
| Pimentão | 7 |
| Tomate | 7 |

Dados obtidos de Robinson *et al.* (1975) e Kays (1991).

6. UMIDADE DO AR E TEMPERATURA

A umidade da atmosfera e a temperatura são variáveis controláveis no armazenamento de frutos e hortaliças; contudo, na maioria dos casos, o controle da umidade do ar é negligenciado ou manejado inadequadamente.

A umidade do ar pode ser expressa de diferentes maneiras, porém as expressões mais utilizadas referem-se a umidade absoluta, umidade relativa, pressão de vapor e ponto de orvalho.

Umidade absoluta - define-se como a massa de vapor de água presente em determinada quantidade de ar seco, em dada temperatura. Usualmente a umidade absoluta é expressa em g kg^{-1} ar seco.

Umidade relativa - refere-se a razão entre a pressão de vapor de água do ar e a pressão de vapor de saturação na mesma temperatura. Normalmente é expressa em porcentagem, variando de 0%, no ar seco, a 100%, em ar completamente saturado com vapor de água.

Ponto de orvalho - pode ser definido como a temperatura do ar, em pressão constante, em que se inicia a condensação do vapor de água (100% de umidade relativa). A condensação de umidade sobre a superfície dos produtos hortícolas, após a sua retirada das câmaras de refrigeração, evidencia que o ponto de orvalho foi atingido no ar circundante.

As relações entre temperatura e umidade são visualizadas no gráfico psicrométrico (Figura 3).

A umidade do ar é determinada pela temperatura do termômetro de bulbos seco e úmido (linha de 100% de umidade relativa), definindo assim o ponto de estado do ar atmosférico. Exemplo de definição do ponto de estado do ar atmosférico com o auxílio do gráfico psicrométrico: temperatura do bulbo seco, 25°C; temperatura do bulbo úmido, 22°C. Nessas condições de temperatura dos bulbos seco e úmido, a umidade relativa é de 78%; a pressão de vapor de água é de 22,5 mBar; o ponto de orvalho de 21°C; e a umidade absoluta é de 15,2 g kg⁻¹ ar seco.

A combinação de ar seco com vapor de água exerce certa pressão parcial e, em determinada pressão barométrica, há correlação entre umidade absoluta e pressão de vapor, independente da temperatura. A pressão de vapor é usada como expressão do nível de umidade, e das diferenças de pressão de vapor entre dois pontos. A quantidade de vapor de água presente no ar de armazenamento exerce grande efeito sobre a taxa de movimento de água do interior do tecido para a atmosfera circundante.

GRÁFICO PSICROMÉTRICO
PRESSÃO BAROMÉTRICA = 760mmHg (1013 mbar)

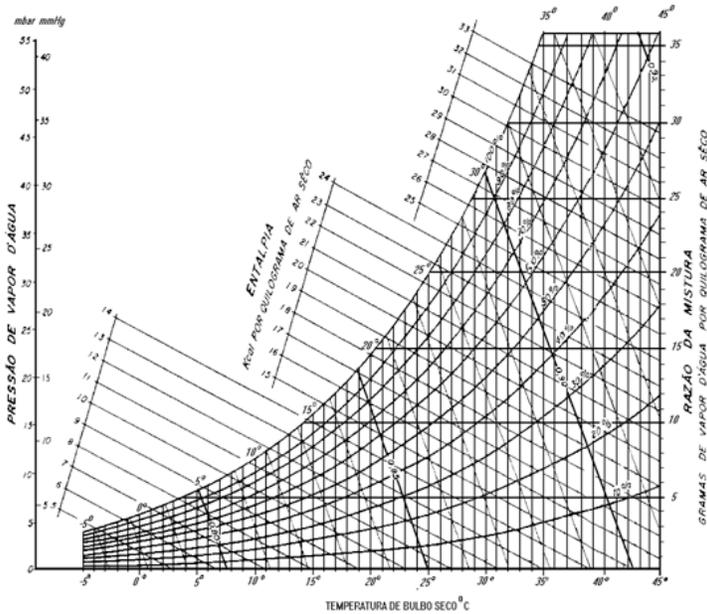


Figura 3 - Representação do gráfico psicrométrico

O gradiente de pressão de vapor entre o produto e o ar circundante determina, em grande parte, a taxa de transferência de água do produto para o ambiente (Grierson & Wardowski, 1975). Desse modo, o controle das condições de umidade do ar de armazenamento é determinante para evitar a desidratação de frutos e hortaliças em geral. Para o estabelecimento do gradiente de pressão de vapor entre o produto e o ambiente, considera-se que a umidade relativa nos espaços intercelulares e a superfície dos produtos hortícolas seja

igual a 100%. Assim, um produto com temperatura de 20°C terá uma pressão de vapor de água de 22 mBar. Nessa temperatura, a pressão de vapor de água do ambiente será dependente da umidade do ar de armazenamento, estabelecendo, assim, o gradiente de pressão de vapor e, conseqüentemente, a intensidade de perda de água do produto para o ar circundante.

7. PERDA DE ÁGUA

A taxa de perda de água pelos produtos hortícolas é função da interação entre fatores do meio e internos dos órgãos vegetais. A temperatura, umidade e velocidade do ar são fatores de meio determinantes do controle e da redução das perdas de água pós-colheita em frutos e hortaliças. Porém, fatores inerentes aos produtos, como relação superfície/volume, natureza da superfície protetora e integridade física, determinam, em parte, a taxa de difusão do vapor de água do produto para o ambiente.

7.1 Relação superfície/volume

A troca gasosa entre determinado produto hortícola e o ambiente é influenciada pela razão entre a área e o volume do produto, ou seja, a superfície específica. Admitindo que a forma

do produto seja constante, a superfície específica aumenta com a redução do tamanho. Logo, a perda de vapor de água por transpiração será mais elevada para produtos com maior relação superfície/volume.

A relação superfície/volume varia em função do tamanho e da forma do produto hortícola (Quadro 3).

Quadro 3 - Relação superfície/volume de alguns produtos de origem vegetal.

| Relação superfície/volume (cm² cm⁻³) | Produto |
|---|---|
| 50 – 100 | Folhas individuais, sementes pequenas |
| 10 – 15 | Grãos de cereais |
| 5 – 10 | Frutos pequenos (framboesa), sementes de leguminosas |
| 2 – 5 | Frutos médios (morango), acelga, nozes |
| 0,5 - 1,5 | Tubérculos, raízes, cebolas, bananas, frutos cítricos, maçãs, peras, pêsegos, pepinos, abóboras italianas |
| 0,2 - 0,5 | Repolho, inhame, abóboras maduras |

Dados obtidos de Kays (1991).

7.2 Natureza da superfície protetora

A natureza e os tipos de estruturas superficiais de proteção em frutos e hortaliças afetam a taxa de perda de água. Cutículas, películas e periderme são estruturas de proteção que restringem em parte a passagem de vapor de água para o exterior dos órgãos.

Cutícula - consiste na camada cerosa que recobre a superfície das células epidérmicas geralmente presentes em folhas e frutos. As ceras são formadas por diferentes lipídios esterificados, dificultando a penetração de patógenos e a passagem de vapor de água. A estrutura química das ceras parece ser mais importante que a espessura no controle da difusão do vapor de água através da cutícula. Lownds et al. (1994) observaram que houve variação de até 60% na perda de peso entre nove cultivares de pimentão quando os frutos foram armazenados em temperatura e umidade semelhantes. Essa variação sugere a existência de diferentes graus de permeabilidade das cutículas ao vapor de água entre as cultivares estudadas.

Películas - estão presentes em bulbos de cebola e alho. As películas externas desses órgãos são formadas por uma a três bainhas de folhas. O secamento parcial das películas é denominado "cura", pelo qual se forma uma estrutura de proteção que auxilia na manutenção da dormência, restringe o fluxo de vapor de água e dificulta a penetração de fungos e bactérias (Brewster, 1994). A cura em bulbos de cebola promove reduções na perda de peso superiores a 50%, durante o período de armazenamento, em relação à observada em bulbos não curados. Na maioria das cultivares de

cebola, a cura se completa após um período de 14 a 17 dias, entre 16 e 27°C e umidade relativa de 70-80% (Salunkhe & Desai, 1984b).

Periderme - constitui-se no tecido de proteção resultante do crescimento secundário de alguns tubérculos e raízes. Nesses órgãos, a epiderme é substituída pela periderme e a sua formação é estimulada por danos mecânicos nas estruturas e estresse hídrico das plantas. A periderme é formada por camadas de células com paredes celulares suberizadas e arranjadas firmemente, reduzindo os espaços intercelulares com as células vizinhas (Kays, 1991). Em batata, a completa formação da periderme ocorre após a colheita, processo este denominado “cura”, sendo a temperatura de 20°C e a umidade relativa de 85% consideradas ideais para a formação do tecido de proteção. Nessas condições, tubérculos colhidos maduros completam o desenvolvimento da periderme em cerca de 10 dias. A resistência à difusão de vapor de água em batata aumenta de 44 s cm⁻¹ para cerca de 140 s cm⁻¹ quando, após a colheita, os tubérculos são armazenados a 4°C pelo período de 10 dias (Braue et al., 1983). Tubérculos de batata podem apresentar lenticelas na superfície da periderme, sendo essas aberturas responsáveis pelo aumento da difusão de vapor de água para o ambiente, visto que formam grandes espaços intercelulares nas células da periderme.

7.3 Camada de ar limítrofe

A camada de ar limítrofe pode ser definida como uma fina camada de ar adjacente à superfície dos produtos hortícolas. A pressão de vapor de água da camada de ar limítrofe apresenta-se próxima ao equilíbrio com a pressão de vapor de água nos espaços intercelulares do produto e representa uma barreira ao movimento de gases, como vapor de água, gás carbônico, oxigênio e etileno.

A influência do vento sobre a taxa de perda de água de produtos colhidos deve-se ao efeito que o movimento do ar exerce sobre a espessura da camada de ar limítrofe. A elevação da turbulência na superfície do produto reduz a espessura da camada de ar limítrofe, elevando a diferença de pressão de vapor de água entre o produto e o ambiente, com conseqüente aumento da perda de água. Porém, um movimento mínimo de ar deve ocorrer nas câmaras de armazenamento de modo a remover o calor produzido pelo produto. Correntes de ar superiores a 50 m min^{-1} tendem a romper o equilíbrio da camada de ar limítrofe, causando redução da umidade relativa e elevação da transpiração de frutos e hortaliças (Ben-Yehoshua, 1987).

7.4 Danos mecânicos

Cortes e abrasões tendem a acelerar a perda de água de frutos e hortaliças por comprometerem a integridade dos tecidos de proteção. Yoo & Pike (1995) avaliaram o efeito de diferentes tipos de

danos mecânicos sobre as taxas de perda de água e a percentagem total de perda de peso durante o armazenamento de bulbos de cebola da cultivar Texas Grano (Quadro 4).

Quadro 4 - Taxa de perda de água e percentagem total de perda de peso de bulbos de cebola danificados mecanicamente, armazenados a 24 ± 2°C e 40-50 % de umidade relativa por cinco semanas.

| Tratamento | Semanas de armazenamento | | | | | Média |
|---|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Taxa de perda de água (g H ₂ O/kg de cebola/dia) | | | | | | |
| Corte | 2,92 a | 2,50 a | 1,79 a | 2,13 a | 1,79 a | 2,26 a |
| Corte + queda | 3,04 a | 2,37 a | 1,71 a | 2,03 a | 1,77 a | 2,18 a |
| Queda | 0,91 b | 0,62 b | 0,79 b | 1,37 b | 1,10 b | 0,96 b |
| Controle | 0,79 b | 0,55 b | 0,76 b | 1,26 b | 0,95 b | 0,86 b |
| Perda de peso total (%) | | | | | | |
| Corte | 2,4 a | 4,0 a | 5,3 a | 7,5 a | 9,3 a | |
| Corte + queda | 2,5 a | 4,0 a | 5,2 a | 8,3 a | 10,5 a | |
| Queda | 0,8 b | 1,8 b | 2,6 b | 5,6 b | 8,4 a | |
| Controle | 0,7 b | 1,3 b | 2,4 b | 3,3 b | 4,0 b | |

A perda de peso total foi acumulada e incluiu a perda de água (desidratação) e a perda devido ao descarte de bulbos por podridão causada por *Botrytis*. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente na coluna pelo Teste Duncan (P = 0,05). Corte: 4 cortes verticais com cerca de 5 mm de profundidade. Queda: 2 quedas de 80 cm de altura em superfície rígida e lisa. Corte + queda: os bulbos foram cortados e o corte foi seguido de queda, conforme descrito acima. Dados obtidos de Yoo & Pike (1995).

Bulbos que sofreram os tratamentos de corte e corte associado a duas quedas elevaram em duas a três vezes a taxa de perda de água, quando comparada com as taxas observadas para os bulbos submetidos ao tratamento de queda e controle não danificado (Quadro 4). A perda de peso total nas três semanas iniciais do armazenamento decorreu, principalmente, da perda de água, seguindo-se um período de perda por podridão causada por *Botrytis*.

8. MEDIDAS DE CONTROLE DA PERDA DE ÁGUA

Diversas medidas de controle da perda de água podem ser tomadas de modo a retardar ou prevenir o murchamento durante o armazenamento e a comercialização. Todas as medidas de controle da perda de água objetivam reduzir a capacidade do ar circundante de absorver vapor de água da superfície do produto. Tal efeito pode ser obtido pela redução da temperatura, elevação da umidade do ar e adição de barreiras protetoras que reduzem o movimento de vapor de água para o exterior do produto.

8.1 Embalagens protetoras

Embalagens plásticas protetoras são usadas em larga escala como proteção física para reduzir a deterioração na comercialização dos produtos hortícolas. Essas embalagens, quando usadas logo após a colheita, permitem a redução do manuseio excessivo dos produtos hortícolas entre o produtor e o consumidor final. A maior vantagem do uso de filmes plásticos na comercialização de frutos e hortaliças é a de manter a qualidade dos produtos pela redução da perda de água. Porém, os filmes plásticos permitem o acúmulo de CO_2 e a redução na concentração de O_2 pela respiração do próprio produto, favorecendo a formação de uma atmosfera modificada no interior da embalagem. A atmosfera modificada pode ser benéfica para o armazenamento da maioria dos produtos, porém o sucesso dependerá de uma combinação adequada do produto, da temperatura de armazenamento e da permeabilidade do filme plástico aos gases respiratórios CO_2 e O_2 (Hardenburg, 1971).

Os filmes plásticos de uso mais generalizado em pós-colheita são o cloreto de polivinil (PVC), polietileno de baixa densidade (PBD) e polietileno de alta densidade (PAD). Esses filmes apresentam diferentes graus de permeabilidade ao vapor de água e aos gases CO_2 , O_2 e etileno. O filme de PVC apresenta maior permeabilidade ao vapor de água, seguido do PBD e PAD. Os filmes plásticos geralmente são usados de duas formas no acondicionamento de frutos e hortaliças:

Filmes plásticos não perfurados - restringem acentuadamente as trocas gasosas entre o interior da embalagem e o ambiente. Esse

tipo de embalagem é geralmente recomendado para armazenamento em baixas temperaturas. Além disso, o armazenamento com filmes plásticos de PBD e PAD requer controle das oscilações da temperatura, uma vez que há excessiva condensação de umidade no interior da embalagem. Baixos níveis de O_2 e elevada concentração de CO_2 , resultante da respiração do produto, podem induzir respiração anaeróbica e formação de odores indesejáveis, sendo comum em temperaturas elevadas ou mudanças de temperatura durante o armazenamento.

Filmes plásticos perfurados - permitem maior troca de gases entre o interior da embalagem e o ambiente, sem alterar significativamente as concentrações de CO_2 e O_2 no interior desta. Os maiores benefícios desse tipo de embalagem são o de elevar a umidade no seu interior, reduzindo substancialmente a perda de água para o ambiente e o de evitar a condensação excessiva de água na superfície do produto, o que poderia aumentar a infecção por fungos e bactérias, particularmente em produtos armazenados em temperatura ambiente. São geralmente usados o PBD e o PAD para armazenamento em embalagem perfurada. Em embalagens com filmes de PVC não se utilizam perfurações, uma vez que o PVC apresenta alta permeabilidade ao vapor de água, evitando a condensação de umidade no interior da embalagem.

Resultados do efeito de embalagens de PBD sobre a conservação de pimentões vermelhos, em diferentes temperaturas, são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Efeito de embalagens de polietileno de baixa densidade (PBD) sobre a perda de peso, firmeza e deterioração de pimentões vermelhos armazenados por 14 dias, a 7,5 e 3,0°C e umidade relativa de 85-90%, seguido de armazenamento por três dias, a 17°C.

| Perfurações | Perda de peso(%) | Firmeza (mm) | | Deterioração (%) | | | |
|-----------------|--------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|-------|--------|
| | | 7,5°C | 3,0°C | 7,5°C | 3,0°C | | |
| Área (%) | n° de furos | 7,5°C | 3,0°C | 7,5°C | 3,0°C | | |
| 0 | 0 | 1,7 b | 1,6 c | 2,5 b | 2,6 bc | 5,4 a | 3,0 b |
| 0,064 | 13 | 1,8 b | 1,8 b | 2,6 b | 2,4 c | 2,4 a | 3,9 b |
| 0,230 | 40 | 2,1 b | 3,0 b | 2,8 b | 2,9 abc | 7,1 a | 0,0 c |
| 0,420 | 72 | 2,5 b | 3,3 ab | 2,7 b | 3,0 ab | 6,5 a | 0,0 c |
| Controle | - | 3,4 a | 4,4 a | 3,5 a | 3,3 a | 4,7 a | 11,7 a |

Perfurações de 6 mm de diâmetro. Os frutos foram removidos das embalagens de polietileno ao serem transferidos para local com temperatura a 17°C. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente na coluna pelo Teste Duncan (P = 0,05). Dados obtidos de Meir et al. (1995).

As embalagens plásticas mantiveram os pimentões com qualidade superior à dos frutos não embalados e preveniram o desenvolvimento de sintomas de injúria por frio nos frutos armazenados à temperatura de 3,0°C. As embalagens de polietileno não perfuradas e aquelas com diferentes percentagens de perfurações (0,064-0,42%) reduziram a perda de peso entre 40-50%, em relação aos frutos não embalados, após duas semanas de armazenamento a 7,5°C, seguido de três dias em local com temperatura a 17°C (Quadro 5). Além disso, as embalagens de polietileno permitiram maior retenção da firmeza e redução da deterioração dos frutos ao final do armazenamento.

8.2 Movimento do ar

Os produtos hortícolas, de modo geral, apresentam temperaturas elevadas na colheita e, para remover rapidamente o calor do produto, há necessidade de se usar ar frio com altas taxas de movimento.

O resfriamento rápido de frutos e hortaliças ocorre com velocidade do ar frio entre 60 e 120 m min⁻¹, podendo também causar alguma perda de água. Após a remoção do calor de campo, os produtos devem ser armazenados em temperatura final adequada ao fruto ou à hortaliça; a velocidade do ar, porém, deve situar-se entre 3 e 6 m min⁻¹.

8.3 Revestimento com ceras

As ceras ocorrem naturalmente nos órgãos vegetais na superfície de folhas, frutos, brácteas e caules, sendo constituídas essencialmente de ácidos graxos e alcoóis de cadeia longa ou ésteres de ácidos graxos (Freeman & Turner, 1985; Kays, 1991). Elas formam uma barreira natural contra a perda de água e, muitas vezes, durante a lavagem e o polimento de frutos, são parcialmente removidas. A aplicação de ceras, com espessura adequada, reduz a migração de água para o ambiente, confere proteção contra a penetração de microrganismos patogênicos, aumenta o período de conservação e melhora a aparência final pelo aumento do brilho da superfície do produto (Edward & Blennerhassett, 1994; Joyce et al., 1995).

A utilização de ceras altera as taxas de difusão do O_2 e CO_2 entre o produto e o ambiente de armazenamento. A cera aplicada na superfície do produto não deve induzir deficiência acentuada de O_2 ou excesso de CO_2 , responsáveis pela indução de respiração anaeróbica e injúria por CO_2 , respectivamente. Assim, a utilização de camadas espessas de ceras podem criar condições para a respiração anaeróbica ou injúria por CO_2 , enquanto a aplicação de uma camada de cera fina não oferece controle efetivo na perda de água.

Os trabalhos pioneiros com uso de substâncias de proteção foram realizados em maçã e mostraram que o uso de óleo e parafina reduzem a permeabilidade da epiderme, diminuem a taxa respiratória

e de amaciamento da polpa e retardam as alterações da cor da casca de verde para amarelo (Ben-Yehoshua, 1987).

As ceras usadas nos frutos depois da colheita podem ser classificadas em dois grupos, as sintéticas e as naturais, sendo miscíveis em água (hidrossolúveis) ou em solventes orgânicos (lipossolúveis). As ceras lipossolúveis são constituídas de resina sintética ou vegetal e de plastificantes. A cera de carnaúba é uma resina natural miscível em trietanolamina ou ácido oléico.

As ceras hidrossolúveis são formuladas como resinas cerosas ou emulsões de ceras solúveis em álcali. Geralmente são adicionados ácido oléico e trietanolamina às ceras para produção de uma emulsão. As emulsões de ceras hidrossolúveis oferecem maior segurança durante a aplicação, uma vez que as formulações lipossolúveis são altamente inflamáveis. Formulações hidrossolúveis podem ser usadas sem a necessidade de se secar o produto, enquanto, nas ceras solúveis em solventes orgânicos, a superfície do produto deve estar livre de umidade para não manchar o fruto e assegurar um brilho adequado.

Diversas formulações de ceras naturais ou sintéticas (Quadro 6) foram desenvolvidas e testadas experimentalmente em frutos e hortaliças. No mercado interno, estão disponíveis as ceras Fruit Wax, Sparcitrus e Sunny Side Cítrico, marcas comerciais da Spartan do Brasil Ltda. (Campinas-SP). A Fruit Wax é uma cera de base aquosa, com componentes naturais, grau F.D.A. (Food and Drug Administration-EUA), podendo ser aplicada sobre frutos cujas cascas são ingeridas, sem causar problemas de intoxicação. A cera Sparcitrus também é um produto de base aquosa, porém é recomendada para o uso em

frutos cujas cascas não são consumidas, como citros, abacate, melão, abacaxi e banana. A Sunny Side Cítrico é uma cera à base de solvente orgânico, sendo recomendada para proteção e embelezamento de frutos cítricos.

Quadro 6 - Principais constituintes de algumas ceras comerciais usadas em produtos hortícolas.

| Cera | PH | Principais constituintes |
|-------------|-----------|--|
| Nature seal | 6,0 | Água, metil celulose, emulsificantes, plastificantes |
| FMC 214 | 6,5 | Água, resinas solúveis em álcali, surfactantes em grau de alimentos |
| FMC 223 | 7,0 | Água, resinas solúveis em álcali, surfactantes em grau de alimentos, ácido oléico, propileno glicol, hidróxido de amônio |
| FMC 402 | 7,5 | Água, resinas solúveis em álcali, sabões de ácidos graxos, propileno glicol |
| FMC 705 | 11,0 | Água, cera derivada de petróleo, polietileno, surfactantes aniônicos e não aniônicos, hidróxido de potássio |

Dados obtidos de McGuire (1993).

A atomização é o método mais recomendado para aplicação de ceras, porém podem ser aplicadas por pulverização, imersão ou por escovas. O rendimento médio nas aplicações de ceras, pelo método de pulverização, é de cerca de 1 litro de produto comercial para 1000 kg de frutos. As ceras também são usadas como veículos para a aplicação de fungicidas, bactericidas e reguladores de crescimento.

Edward & Blennerhassett (1994) avaliaram os efeitos do uso de uma cera hidrossolúvel (Citru-seal) para frutos cítricos, nas concentrações de 50% e 80% do produto comercial, em melões da cultivar Honey Dew. Os autores observaram que a cera foi eficaz em reduzir a perda de peso após 4 e 6 semanas de armazenamento, a 3 e 6°C, e diminuiu a incidência de injúria por frio nos frutos armazenados a 3°C.

8.4 Manejo da temperatura e umidade do ar

A redução da temperatura promove diminuição na atividade respiratória dos produtos e redução na capacidade do ambiente em absorver umidade, com conseqüente redução da perda de água por transpiração. Frutos de chuchu armazenados a 25°C apresentaram taxa de perda de peso de duas a cinco vezes superiores àquelas observadas em frutos armazenados à temperatura de 15 ou 10°C (Aung et al., 1996).

A elevação da umidade do ar promove redução do gradiente de pressão de vapor entre o produto e o ambiente, reduzindo a transpiração e a quantidade de água necessária para saturar o ar ambiente (Wills et al., 1981). Por outro lado, a elevação da umidade do ar favorece o aparecimento de fungos e bactérias, podendo aumentar a incidência de podridões pós-colheita. Portanto, a elevação da umidade relativa do ar deve estar associada à redução da temperatura de armazenamento para as condições mais adequadas à conservação do produto. Porém, em bulbos curados de cebola, a taxa de perda de peso, em temperatura ambiente, é menor quando os bulbos são armazenados entre 55 e 75% de umidade relativa (Matos et al., 1997).

A temperatura e umidade relativa ideais para o armazenamento de diversos frutos e hortaliças mostra que as condições ideais variam em função da natureza do produto (Quadro 7). Como regra geral, frutos são armazenados sob umidade relativa entre 85 e 90%, folhosas entre 90 e 95% e bulbos entre 70 e 75%. Nessas condições obtêm-se um máximo de vida útil do produto, sem aparente murchamento, enrugamento ou desenvolvimento de doenças pós-colheita.



Quadro 7 - Condições ideais de armazenamento de alguns frutos e hortaliças.

| Produto | Temperatura (°C) | Umidade Relativa (%) | Semanas de Armazenamento |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| FRUTOS: | | | |
| Abacaxi^a | 7-8 | 85-90 | 1-2 |
| Banana^b | 13 | 85-90 | 3-4 |
| Goiaba | 8-10 | 85-90 | 2-5 |
| Laranja | 5-6 | 85-90 | 5-6 |
| Manga | 8-10 | 85-90 | 2-4 |
| Mamão^c | 8-10 | 85-90 | 2-4 |
| Morango | 0-1 | 90-95 | 2-3 |
| Pimentão^d | 8 | 85-90 | 2-3 |
| Tomate^e | 8 | 85-90 | 4-5 |
| HORTALIÇAS: | | | |
| Alface | 0-1 | 95 | 2 |
| Cebola | 0-1 | 70-75 | 40 |
| Cenoura | 0-1 | 95 | 20 |
| Couve-flor | 0-1 | 90-95 | 4 |
| Repolho | 0-1 | 92-95 | 12 |

a, fruto com 25% de superfície amarela; b, fruto verde; c, fruto com ápice amarelo; d, fruto verde; e, fruto verde-rosado. Dados obtidos de Robinson (1975), Van Der Berg (1978), Salunkhe & Desay (1984ab).

9. REFERÊNCIAS

ALLEN FW; PENTZER WT. 1935. Studies of the effect of humidity in the cold storage of fruits. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 33: 215-223.

AUNG LH; HARRIS CM; RIJ RE; BROWN JW. 1996. Postharvest storage temperature and film wrap effects on the quality of chayote, *Sechium edule* Sw. *Journal of Horticultural Science* 71: 297-304.

BRAUE CA; WAMPLE RL; KOLATTUKUDY PE; DEAN BB. 1983. Relationship of potato periderm resistance to plant water status. *American Potato Journal* 60: 827-837.

BURDON JN; DORI S; LOMANIEC R; MARINANSKY R; PESIS E. 1994. The post-harvest ripening of water stressed banana fruits. *Journal of Horticultural Science* 69: 799-804.

FINGER FL; PUSCHMANN R; BARROS RS. 1995. Effects of water loss on respiration, ethylene production and ripening of banana fruit. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 7: 115-118.

FREEMAN B; TURNER DW. 1985. The epicuticular waxes on the organs of different varieties of banana (*Musa* spp.) differ in form, chemistry and concentration. *Australian Journal of Botany* 33: 393-408.

GEORGE JB; MARRIOTT J; PALMER JM; KARIKARI SK. 1982. Sensitivity to water stress and ethylene of stored plantain fruits. *Journal of Experimental Botany* 33: 1194-1201.

GRIERSON W; WARDOWSKI WF. 1978. Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. *HortScience* 13: 570-574.

JOYCE DC; SHORTER AJ; JONES PN. 1995. Effect of delayed film wrapping and waxing on the shelf life of avocado fruit. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 657-659.

HARDENBURG RE. 1971. Effect of in-package environment on keeping quality of fruits and vegetables. *HortScience* 6: 198-201.

KAYS EJ. 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. New York: AVI Book 532p.

LITTMANN MD. 1972. Effect of water stress on the respiratory gas exchange of banana fruit and tissue. *Queensland Journal of Agricultural Sciences* 29: 115-130.

LOWNDS NK; BANARAS M; BOSLAND PW. 1994. Postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) cultivars. *HortScience* 29: 191-193.

MCGUIRE RE. 1993. Application of *Candida guilliermondii* in commercial citrus waxes for biocontrol of *Penicillium* on grapefruit. In: CHAMP BR; HIGLEY E; JOHNSON GI (Eds.) *Postharvest handling of tropical fruits: proceedings of an international conference*. Thailand. p. 464-468.

MATOS AT; FINGER FL; DALPASQUALE VA. 1997. Perda de matéria fresca e isotermas de sorção em bulbos de cebola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32: 235-238.

MEIR S; ROSENBERGER I; AHARON Z; SHOSHANA Z; FALLIK E. 1995. Improvement of the postharvest keeping quality and colour development of bell papper (cv. 'Maor') by packaging with polyethylene bags at a reduced temperature. *Postharvest Biology and Technology* 5: 303-309.

ROBINSON JE; BROWNE KM; BURTON WG. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Annals Applied Biology* 81: 399-408.

SALUNKHE D; DESAI BB. 1984a. *Postharvest biotechnology of fruits*. V.I e II Boca Raton: CRC Press.

SALUNKHE DK; DESAI BB. 1984b. *Postharvest biotechnology of vegetables*. v.I e II. Boca Raton: CRC Press.

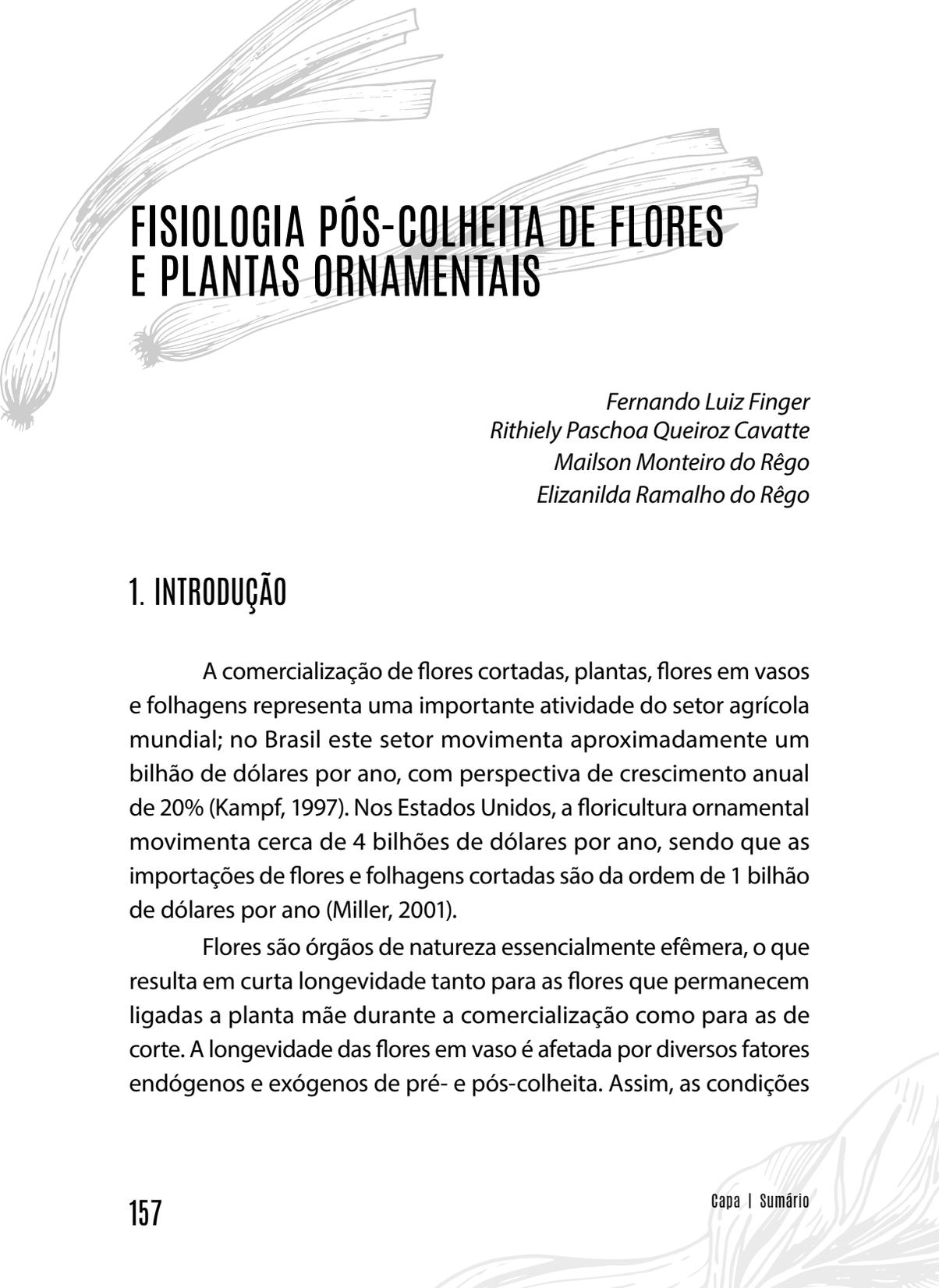
VAN DER BERG L; LENTZ CP. 1978. High humidity storage of vegetables and fruits. *HortScience* 13: 17-21.

WILLS RHH; LEE TH; GRAHAM D; MCGLASSON WB; HALL EG. 1981. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables*. Westport: AVI, 163p.

YOO KS; PIKE LM. 1995. Postharvest losses of mechanically injured onions after curing. *HortScience* 30: 143.

CAPÍTULO 5





FISIOLOGIA PÓS-COLHEITA DE FLORES E PLANTAS ORNAMENTAIS

*Fernando Luiz Finger
Rithiely Paschoa Queiroz Cavatte
Mailson Monteiro do Rêgo
Elizanilda Ramalho do Rêgo*

1. INTRODUÇÃO

A comercialização de flores cortadas, plantas, flores em vasos e folhagens representa uma importante atividade do setor agrícola mundial; no Brasil este setor movimentava aproximadamente um bilhão de dólares por ano, com perspectiva de crescimento anual de 20% (Kampf, 1997). Nos Estados Unidos, a floricultura ornamental movimentava cerca de 4 bilhões de dólares por ano, sendo que as importações de flores e folhagens cortadas são da ordem de 1 bilhão de dólares por ano (Miller, 2001).

Flores são órgãos de natureza essencialmente efêmera, o que resulta em curta longevidade tanto para as flores que permanecem ligadas a planta mãe durante a comercialização como para as de corte. A longevidade das flores em vaso é afetada por diversos fatores endógenos e exógenos de pré- e pós-colheita. Assim, as condições

de cultivo, período adequado de colheita e tratamentos pós-colheita determinam em grande parte a extensão da vida útil da flor em vaso.

O objetivo desta revisão é de discutir os fatores fisiológicos e tratamentos pós-colheita que afetam a qualidade, conservação e a longevidade das flores e plantas ornamentais durante o transporte, armazenamento, comercialização e utilização final do produto.

2. SOLUÇÕES DE ‘PULSING’ E DE VASO

A expressão ‘pulsing’ refere-se a diferentes tratamentos pós-colheita de condicionamento de curta duração, máximo de 24 a 48 horas, onde são aplicadas soluções de açúcares, ácidos orgânicos, inibidores da síntese ou ação do etileno e/ou bactericidas, imediatamente após a colheita ou após o armazenamento refrigerado de flores ou folhagens de corte. Estas mesmas substâncias podem também ser aplicadas na solução de vaso, porém, devem ser utilizadas em concentrações mais baixas que aquelas usadas na forma de ‘pulsing’. A utilização de preservativos florais em solução de vaso é problemática uma vez que muitas substâncias são altamente tóxicas, como o íon Ag^+ ou substâncias que são utilizadas como substratos para o crescimento de microrganismos, a exemplo da sacarose e glicose. O manuseio destas substâncias exige cuidados adicionais de segurança ambiental por parte de produtores, comerciantes e consumidores.

3. RELAÇÕES HÍDRICAS

Em muitas flores de corte, o murchamento e a senescência das pétalas estão associados à deficiência na absorção de água pelas hastes. Nestas flores, há obstrução física dos vasos xilemáticos por microrganismos, pela deposição de pectina e fenóis ou por embolismo, reduzindo desta forma a condutância hidráulica na haste (Williamson & Milburn, 1995; Lineberger & Steponkus, 1976; De Pescale & Viggiani, 1998).

Observa-se pela Figura 1 que o corte periódico da base das hastes de ave-do-paraíso, a cada 2 dias, melhorou significativamente a absorção de água pelas flores, evidenciado pelo melhor equilíbrio no teor relativo de água das sépalas ao longo da pós-colheita. Neste mesmo experimento observou-se, também, que o corte periódico da base das hastes prolongou a longevidade das flores e elevou o número de floretes abertos em 1,5 e 1,7 vezes, respectivamente, em relação ao tratamento controle.

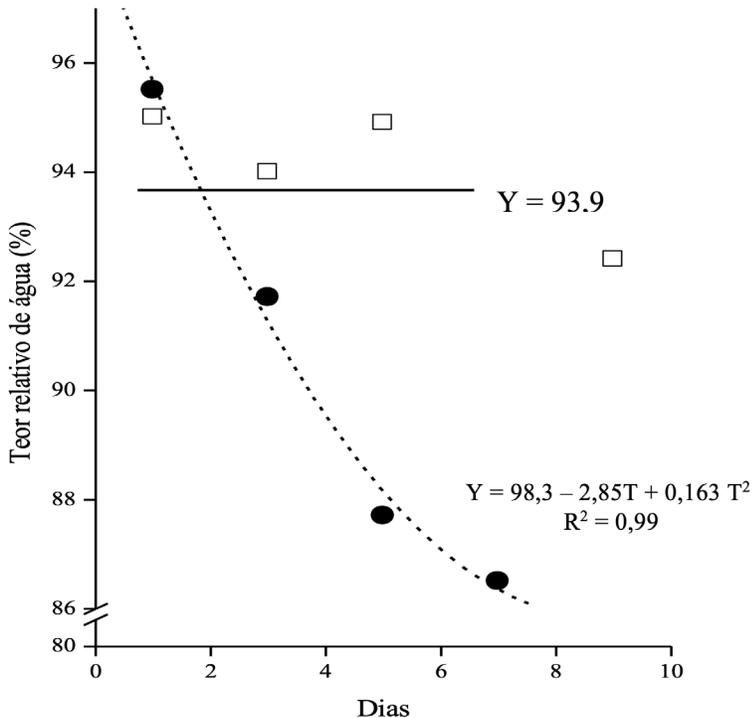


Figura 1 - Mudanças no teor relativo de água em sépalas de ave-do-paráiso, nas hastes cortadas a cada 2 dias (□) e no controle (●) em vaso a 25°C e 60% de umidade relativa. (Fonte: Adaptado de Campanha et al., 1997).

Sun *et al.* (2001) observaram que o tratamento de flores cortadas de *Eucalyptus ficifolia* mantidas continuamente em solução de vaso contendo 2% de sacarose, 200 mg L⁻¹ de citrato de hidroxiquinolina (HQC) e pH da água ajustado para 4 pela adição de ácido cítrico, foi eficiente em manter a absorção de água e massa

fresca das flores pelo período de 5 dias após a colheita. Neste mesmo trabalho, observou-se que a utilização de pH 4 na solução de vaso foi o que promoveu maior elevação da massa fresca das flores, ou seja maior absorção pós-colheita de água pelas hastes.

4. CARBOIDRATOS

Diversas flores de corte têm a vida de vaso aumentada quando açúcares exógenos são supridos às hastes, aplicados tanto na forma de 'pulsing' ou continuamente como componente das soluções de vaso. Geralmente, os açúcares são fornecidos na forma de sacarose ou glicose, cujas concentrações variam em função da espécie, do modo e do tempo de aplicação.

Para a maioria das flores cortadas, o nível de açúcares nas pétalas é relativamente elevado por ocasião do murchamento e senescência das flores, logo não há aparente escassez de carboidratos por parte dos órgãos florais para manter a respiração vital das pétalas. Porém, a aplicação exógena de açúcar, após a colheita, eleva a longevidade de muitas destas flores, contradizendo desta forma a afirmativa de que os carboidratos estão presentes em quantidade suficientes. Por outro lado, deve-se levar em consideração que embora aparentemente haja elevado conteúdo de carboidratos nas pétalas, por ocasião do murchamento, estes açúcares podem

estar compartimentalizados na célula e, portanto, não disponíveis ao mitocôndrio (Van Door, 2001).

Em flores de ave-do-paráíso, o 'pulsing' com sacarose nas concentrações entre 10 e 40% aplicados por 24 horas elevaram a longevidade e o número de floretes abertos (Figura 2). O pré-tratamento das flores com 40% de sacarose elevou a longevidade em 55% e aumentou em 1,7 vezes o número final de floretes abertos, quando comparado às flores não pulsadas com sacarose.

Rosas cortadas têm a murcha das pétalas retardada quando as hastes são submetidas a pré-tratamentos com sacarose, provavelmente por elevar o nível de solutos osmoticamente ativos nas pétalas, melhorando desta forma o balanço hídrico das hastes florais (Van Doorn, 2001). Cho *et al.* (2001) observaram que o tratamento contínuo de flores cortadas de *Eustoma grandiflorum* com solução de 6% de sacarose ou glicose elevou o número de botões florais abertos, reduziu a percentagem de hastes com pescoço curvado, melhorou a coloração das pétalas e prolongou a longevidade final das flores. Os autores observaram que houve elevação do conteúdo de glicose na corola das flores com o fornecimento exógeno de carboidratos, e que o nível de açúcares solúveis provavelmente propiciou potencial osmótico favorável a expansão das células que formam as pétalas, estimulando a abertura dos botões florais.

Para muitas flores e plantas ornamentais cortadas, a adição de carboidratos na forma de 'pulsing' ou em solução de vaso, não traz os benefícios esperados ou pode ainda reduzir a longevidade das flores de corte em vaso. Em hastes de rosas contendo folhas e, tratadas continuamente com sacarose a 1,0% ou 2,0% incorporada

na solução de vaso, induz o crestamento e formação de regiões necróticas nas folhas após 24 h de exposição ao açúcar (Markhart & Harper, 1995). Análises dos tecidos por microscopia eletrônica mostraram que os tratamentos com sacarose induziram plasmólise, desorganização do citoplasma e das diferentes organelas das células, nas folhas crestadas.

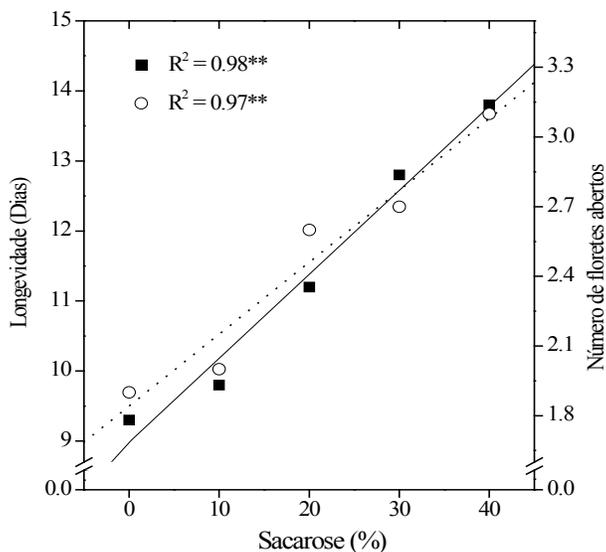


Figura 2 - Efeito do 'pulsing' com sacarose (0, 10, 20, 30 e 40%) por 24 horas sobre a longevidade (■) e número de floretes abertos (○) em flores de ave-do-paráíso. Equações de regressão, longevidade: $Y = 8,90 + 0,12X$; número de floretes abertos: $Y = 1,84 + 0,031X$ (**Significante $P \leq 0,01$)
(Fonte: Adaptado de Finger et al., 1999).

Quadro 1 - Sensibilidade de algumas espécies de ornamentais ao etileno

| MUITO SENSÍVEL | POUCO SENSÍVEL | INSENSÍVEL |
|--------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| <i>Astroemeria</i> | <i>Anthurium</i> | Ave-do-paraiso |
| <i>Consolida ajacis (Dephinium)</i> | <i>Asparagus</i> | Rosas |
| <i>Iris</i> | Gérbera | <i>Gladiolus</i> |
| <i>Gypsophila paniculata</i> | Tulipa | <i>Sandersonia aurantiaca</i> |
| <i>Narcissus</i> | | |
| Orquídeas | | |
| Petúnia | | |
| Cravo | | |
| Boca-de-leão | | |
| Lírio | | |
| <i>Lathyrus odoratus</i> | | |
| <i>Portulaca</i> | | |
| <i>Pimenta ornamental (Capsicum)</i> | | |

Fonte: Woltering & Van Doorn (1988); Nowak & Rudnicki (1990); Serek *et al.* (1994); Eason & De Vré (1995); Ichimura & Suto (1998); Newman *et al.* (1998); Finger *et al.* (1999); Segatto *et al.*, (2012); Santos *et al.*, (2012).

5. AÇÃO DO ETILENO

O etileno, hidrocarboneto gasoso, tem efeitos marcantes sobre a indução da senescência, abscisão e murchamento das flores, em especial sobre flores que possuem alguma sensibilidade a ação do hormônio. As flores podem ser agrupadas em muito sensíveis, pouco sensíveis ou insensíveis ao etileno (Quadro 1).

Em flores muito sensíveis ao etileno, exposição a concentrações relativamente baixas do hormônio, geralmente entre 0,1-1,0 μL^{-1} , pelo período de 6 a 12 horas, são suficientes para encurtar a vida de vaso das flores. Em orquídeas cortadas pertencentes ao gênero *Phalaenopsis*, a exposição das flores por 12 horas a concentrações de 0,1 μL^{-1} de etileno foi suficiente para reduzir em 4,7% a longevidade, e doses acima de 0,5 μL^{-1} em 27,9%, quando comparado a longevidade das flores não expostas ao etileno (Porat et al., 1994). Tratamento de flores cortadas de *Petunia hybrida* com 1,0 μL^{-1} de etileno por 24 a 48 horas reduziu a longevidade em cerca de 50%, quando comparada a das flores mantidas em atmosfera com ar normal sem a presença do hormônio (Knee, 1995).

Flores sensíveis ao etileno como cravos, petúnias e orquídeas têm produção climatérica de etileno durante a senescência e murchamento das pétalas (Porat et al., 1995; Borochoy et al., 1997; Verlinden & Woodson, 1998). O etileno é sintetizado a partir do aminoácido metionina, tendo como intermediários S-adenosilmetionina (SAM) e 1-ácido carboxílico-1-aminociclopropano (ACC). Duas enzimas são consideradas chaves na rota biossintética do etileno, a sintase do ACC e a oxidase do ACC. Em flores que apresentam produção climatérica

de etileno, o conteúdo e atividade da sintase do ACC e da oxidase do ACC são aumentadas durante a senescência das pétalas, promovendo acentuada síntese de etileno, o chamado etileno autocatalítico (Van Altvorst & Bovy, 1995).

A produção de etileno climatérico pelas flores pode ser inibido pelo uso de substâncias inibidoras tanto da síntese quanto da ação do etileno, resultando em elevação da longevidade pós-colheita. A enzima sintase do ACC é dependente de piridoxal fosfato como cofator, sendo portanto, inibida por ácido aminooxiacético (AOA), aminoetoxivinilglicina (AVG) ou rizobiotoxinas análogas (van Altvorst e Bovy, 1995). Mesmo em rosas, consideradas flores insensíveis ao etileno, a aplicação contínua de 0,5 a 2,0 mM de AOA misturado com 5% de sacarose foi eficiente em duplicar a vida de vaso das flores (Ketsa & Narkbua, 2001). Por outro lado, o tratamento de *Ranunculus asiaticus* em solução de 'pulsing' por 24 horas com 200 mg L⁻¹ de AOA não afetou a longevidade das flores (Kenza *et al.*, 2000).

O preservativo floral 1,1-dimetil-4-(fenilsulfonyl)semicarbazida (DPSS) aplicado na solução de vaso ou em 'pulsing' promove extensão da longevidade em flores cortadas de cravo. Midoh *et al.* (1996) observaram que o DPSS inibiu a síntese de etileno climatérico em flores de cravo, provavelmente pela redução da atividade da enzima oxidase do ACC. Porém, em um estudo mais recente, verificou-se que o DPSS não inibe a atividade *in vitro* da sintase do ACC ou da oxidase do ACC, e que a inibição da produção de etileno observada em cravo se deve a um modo de ação do DPSS ainda desconhecido (Satoh *et al.*, 1997).

Os resultados mais promissores para o aumento da longevidade de flores cortadas, com elevada sensibilidade ao etileno, têm sido obtidos pela utilização de substâncias inibidoras da ação do etileno. O tiosulfato de prata (STS) tem sido largamente usado como preservativo floral, tanto na forma de 'pulsing' ou como integrante da solução de vaso. O íon Ag^+ bloqueia os efeitos danosos do etileno, reduzindo a abscisão, senescência e murchamento das flores. O STS é obtido da mistura de AgNO_3 com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, na proporção molar de 1:4-8 (Abeles et al, 1992; Midoh et al., 1996). O STS é utilizado comercialmente como tratamento obrigatório de pré-transporte para diversas flores de corte como cravos (Mor et al., 1981), lírios (Nowak e Rudnocki, 1990) e *Gypsophila paniculata* (Newman et al., 1998), aplicado isoladamente ou em combinação com outras substâncias como sacarose ou ácidos orgânicos. Finger et al. (2001) observaram que o tratamento de flores de *Consolida ajacis*, em solução de 'pulsing', com 1,0 mM de STS aplicado isoladamente por 30 min, seguido ou não de tratamento com 5% de sacarose por seis horas, elevou a longevidade das flores em 22 vezes quando comparado com as flores não tratadas.

Além do STS, outras substâncias com habilidade de bloquear a ação do etileno estão sendo utilizadas na preservação de flores. Os inibidores da ação do etileno, 1-metilciclopropeno (1-MCP) e norbardiene (NBD), estendem a vida de vaso de diversas flores de corte como *Phlox paniculata* (Porat et al., 1995), orquídeas *Cymbidium* (Heyes & Johnston, 1998), *Petunia hybrida* (Serek et al., 1995) e *Portulaca* (Ichimura & Suto, 1998). Estas substâncias são candidatas a substituir o STS no tratamento de flores de corte por serem menos

tóxicas às plantas e ao ambiente, porém como somente são efetivas na forma gasosa, há necessidade de se implementar câmaras de acondicionamento especiais para o uso adequado.

Em flores comestíveis, como em capuchinha (*Tropaeolum majus* L.), que, em condições normais, apresentam-se murchas após 24 h da colheita, o 1-MCP também se mostrou eficiente em retardar a senescência aplicado por 24 h, na concentração de $1,5 \text{ g m}^{-3}$ mesmo na presença de etileno exógeno ($100 \mu\text{L L}^{-1}$) (Informações pessoais). Assim, o 1-MCP conseguiu mantê-las turgidas por até três dias após sua aplicação (Figura 3). O que no caso de flores comestíveis, é um fator que deve-se levar em consideração e de grande importância já que, proporciona ao produtor maior rentabilidade.



Figura 3 - Flores de Capuchinha (*Tropaeolum majus* L.) após 96hs da aplicação dos tratamentos.

(Fonte: Foto cedida por Tania Pires Silva, 2011)

Porat et al. (1995) avaliaram a influência da polinização sobre o aumento da sensibilidade ao etileno e a influência do 1-MCP e do STS sobre murchamento das pétalas de orquídeas *Phalaenopsis*. As flores tiveram a sensibilidade ao etileno aumentada após quatro horas da polinização e indução da produção autocatalítica de etileno entre nove e dez horas após a polinização (Figura 4). O aumento da produção de etileno, em *Phalaenopsis*, é disparado pela maior sensibilidade das pétalas ao próprio etileno, estimulado pela polinização da flor. O pré-tratamento das flores com 250 nl L^{-1} de 1-MCP por seis horas ou pela manutenção destas em solução de vaso contendo $0,5 \text{ mM}$ de STS inibiu a produção autocatalítica de etileno das flores polinizadas (Figura 4), bloqueando efetivamente a ação do hormônio. Em flores de cravo, a elevação da produção de etileno foi responsável pela indução transitória da síntese de mRNAs da sintase do ACC e oxidase do ACC (Jones & Woodson, 1997). A ausência de polinização, o pré-tratamento com 1-MCP ou a manutenção das flores em vaso com $0,5 \text{ mM}$ de STS elevou o número de dias necessários para o murchamento

de 50% das pétalas (Quadro 2). Nos tratamentos testados, o 1-MCP foi mais eficiente que o STS em prolongar a longevidade das flores de *Phalaenopsis*, embora tanto o 1-MCP como o STS foram igualmente efetivos em inibir a produção climatérica de etileno (Figura 4).

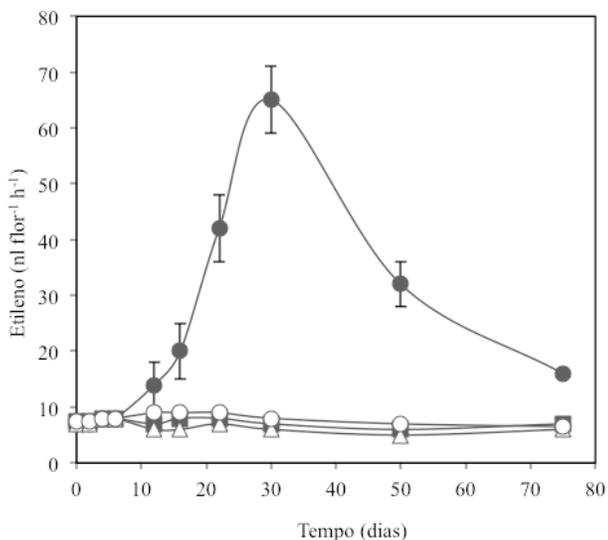


Figura 4 - Efeito dos inibidores da ação do etileno STS e 1-MCP sobre a produção de etileno após a polinização de flores de *Phalaenopsis*. Flores não-polinizadas (○), polinizadas (●), flores pré-tratadas com 250 nl L⁻¹ de 1-MCP por 6 horas e polinizadas (△) ou polinizadas e mantidas em vaso com 0,5 mM de STS (■). Valores médios de 4 repetições ± erro padrão da média. Adaptado de Porat et al. (1995).

Quadro 2 - Influência de inibidores da ação do etileno sobre a longevidade de flores polinizadas e não polinizadas de orquídeas *Phalaenopsis*. Flores pré-tratadas com 250 nL L⁻¹ de 1-MCP ou mantidas continuamente em 0,5 mM de STS. Médias de três experimentos ± erro padrão da média.

| Tratamento | Tempo para murchamento de 50% das pétalas (dias) |
|-------------------|---|
| Não-polinizadas | 13,0±1,3 |
| + 1-MCP | 15,9±0,9 |
| + STS | 9,5±0,4 |
| Polinizadas | 2,0±0,0 |
| + 1-MCP | 13,7±0,8 |
| + STS | 8,9±1,5 |

Fonte: Porat *et al.* (1995).

6. LONGEVIDADE PÓS-PRODUÇÃO DE PLANTAS ORNAMENTAIS EM VASO

Plantas ornamentais comercializadas em vasos com substrato têm a longevidade afetada por diversos fatores ambientais e endógenos. Espécie, cultivares, temperatura, etileno, disponibilidade de luz, de fertilizantes e de água afetam diretamente a qualidade e a longevidade destas plantas.

A vida de prateleira é determinada a partir da colheita até a perda da qualidade comercial do produto (Pataro & Silveira Junior, 2004). No caso de plantas envasadas, entende-se como vida de prateleira o período a partir do ponto de comercialização dessas plantas (que varia de acordo com a espécie) até a perda da qualidade comercial. Espera-se então que as plantas tenham uma maior durabilidade comercial, com maior longevidade a qual proporcionará ao produtor maior tempo de exposição do produto (maior poder de rentabilidade) e permitirá ao consumidor a permanência do produto por maior tempo com vida útil.

Rosas são muitas vezes comercializadas como plantas em vasos com substrato e a longevidade destas varia entre as cultivares utilizadas. Müller et al. (1998) verificaram que as cultivares de rosas miniaturas (*Rosa hybrida*), com excelente longevidade pós-produção, não apresentaram abscisão de gemas e senescência de flores quando expostas a concentrações de 0,1-15 μL^{-1} de etileno, devido a insensibilidade destas cultivares ao hormônio. Em outro experimento com rosas, Cushman et al. (1998) simulando condições

de transporte, armazenaram os vasos a 4, 16 ou 28°C por 2, 4 ou 6 dias, e observaram que a temperatura de 4°C foi mais eficiente em prolongar a longevidade e reduzir a abscisão de folhas no período pós-armazenamento a 21°C.

Semelhante às flores de corte, o etileno pode acelerar a abscisão e senescência de flores e folhas em plantas cultivadas em vaso. A exposição de plantas de *Hibiscus rosa-sinensis* a atmosfera contendo 0,05 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno por 24 horas foi suficiente para induzir abscisão de gemas florais, evidenciando a elevada sensibilidade desta espécie ao hormônio (Høyer, 1996). Resultados semelhantes foram observados por Han & Boyle (1996) trabalhando com armazenamento de cactos do gênero *Hatiora*, onde 1,0 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etileno por 48 horas promoveu a abscisão de 66% das gemas florais nas cultivares mais sensíveis. A pulverização dos cactos com solução de 2 mM de STS, cinco dias antes da exposição ao etileno, foi eficiente em reduzir a abscisão das gemas e prolongar a longevidade.

Em *Kalanchoë blossfeldiana* Poelln (flor da fortuna), a sensibilidade ao etileno variou entre cultivares e a abscisão floral foi grandemente influenciada pelo tempo de exposição, onde, após 24h de exposição ao etileno, algumas plantas obtiveram murcha e senescência floral irreversíveis (Serek & Reid, 2000). Camerom et al. (2001), observou que a abscisão das pétalas de gerânio depende do estágio de desenvolvimento floral, e que o efeito do 1-MCP em retardar a abscisão floral foi melhor a uma temperatura de 12°C quando comparadas às temperaturas de 21 e 25°C. As plantas de gerânio respondem diferentemente quanto a sensibilidade ao etileno, o 1-MCP

foi eficiente em prolongar a vida de prateleira de vaso da variedade Pulsar Red em até 13,6 dias (Silva, 2001).

A clorose das folhas em plantas ornamentais comercializadas em vaso é um dos principais fatores de diminuição da vida de pós-produção. Em lírio, *Lilium longiflorum*, após o armazenamento frigorificado, há intensa clorose das folhas basais (Han, 1995). Alguns tratamentos são propostos para prevenir o amarelecimento das folhas em *Lilium longiflorum*, via pulverização das folhas com benziladenina, isoladamente ou em conjunto com ácido giberélico, aumentou a longevidade e reduziu a respiração das folhas (Franco & Han, 1997; Han, 1997).

De acordo com Segatto (2007), plantas de pimenteiros ornamentais envasadas são sensíveis ao etileno. Essa sensibilidade varia de acordo com a variedade (Figura 5). Essas plantas, quando expostas à alta temperatura, que comumente são transportadas, apresentam alta taxa de abscisão foliar devido à produção de etileno nesta condição, reduzindo assim a qualidade de comercialização das mesmas.



Figura 5 - Efeito de 10 µL L⁻¹ de etileno por 48 h em plantas de pimenteiras ornamentais (*C. annuum*), genótipos, 'Calypso', 'Roxa', BGH 1039 e BGH 7073. C= controle; E= etileno. (Fonte: Segatto, 2007).

A longevidade em pimenteiras ornamentais pode ser também determinada geneticamente. Santos et al.(2012), trabalhando com uma família F₂ de pimenteiras ornamentais da espécie *Capsicum annuum* encontrou segregação para a resistência ao etileno. Estes autores observaram genótipos susceptíveis e resistentes em uma mesma família (Figura 6), indicando a existência do componente genético na resistência ao etileno nesta espécie.

Os fatores determinantes da longevidade pós-produção das plantas em vasos ainda são pouco estudados. Há necessidade

de estudos que avaliem a adaptação das plantas a condições de estresse hídrico e nutricional, alterações bruscas na intensidade luminosa e comprimento do dia, e influência do etileno e outros gases atmosféricos sobre a fisiologia das plantas, bem como o estudo da herança da resistência ao etileno para se determinar o número de genes envolvidos na determinação desta característica e o tipo de efeito gênico predominante na mesma.



Figura 6 - Efeito do etileno ($10 \mu\text{L L}^{-1}$) em plantas de geração F_2 de pimenteira ornamental (*Capsicum annuum*) a = antes da aplicação de etileno, d = 144 horas após a aplicação de etileno. Plantas 1, 19 e 5 (susceptíveis) e plantas 9, 3 e 14 (resistentes)(Santos et al., 2013).

7. REFERÊNCIAS

ABELES FB; MORGAN PW & SALTVEIT Jr ME. 1992. *Ethylene in plant biology*. 2nd Edition. London: Academic Press. 414p.

BOROCHOV A; SPIEGELSTEIN H; PHILOSOPH-HADAS S. 1997. *Ethylene and flower petal senescence: Interrelationship with membrane lipid catabolism*. *Physiology Plant* 100: 606-612.

CAMPANHA MM; FINGER FL; CECON PR; BARBOSA, JG. 1997. Water relations of cut bird-of-paradise (*Strelitzia reginae* Ait.) inflorescences. *Revista Brasileira. Horticultura. Ornamental* 3: 27-31.

CHO MS; CELIKEL F; DODGE L; REID M. 2001. Sucrose enhances the postharvest quality of cut flowers of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Acta Horticulturae* 543: 305-315.

CUSHMAN LC; PEMTERBON HB; MILLER JR, JC, KELLY JW. 1998. Interactions of flower stage, cultivar and shipping temperature and duration affect pot rose performance. *HortScience* 33, 736-740.

EASON JR; DE VRÉ L. 1995. Ethylene-insensitive floral senescence in *Sandersonia aurantiaca* (Hook.). N. Z. J. *Crop Horticulturae. Science* 23: 447-454.

FINGER FL; CAMPANHA, MM; BARBOSA JG; FONTES, PCR. 1999. Influence of ethephon, silver thiosulfate and sucrose pulsing on bird-of-paradise vase life. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 11: 119-122.

FINGER FL; SANTOS VR; MORAES PJ; BARBOSA JG. 2001. Pulsing with sucrose and silver thiosulfate extended the vase life of *Consolida ajacis*. *Acta Horticulture* 543: 63-67.

- FRANCO RE; HAN SS. 1997. Respiratory changes associated with growth-regulator-delay leaf yellowing in Easter lily. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122: 117-121.
- HAN SS. 1997. Preventing postproduction leaf yellowing in Easter lily. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122: 869-872.
- HAN SS. 1995. Growth regulators delay foliar chlorosis of Easter lily leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 120: 254-258.
- HAN SS; BOYLE T. 1996. Ethylene affects postproduction quality of Easter cactus. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121: 1174-1178.
- HEYES JA; JOHNSTON JW. 1998. 1-methylcyclopropene extends Cymbidium orchid vase life and prevents damaged pollinia from accelerating senescence. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 26: 319-324.
- HØYER L. 1996. Critical ethylene exposure for Hibiscus rosa-sinensis is dependent on an interaction between ethylene concentration and duration. *Postharvest Biology and Technology* 9: 87-95.
- ICHIMURA K; SUTO K. 1998. Role of ethylene in acceleration of flower senescence by filament wounding in *Portulaca* hybrid. *Plant Physiology* 104: 603-607.
- JONES ML; WOODSON WR. 1997. Pollination-induced ethylene in carnation. *Plant Physiology* 115: 205-212.
- KENZA M; UMIEL N; BOROCHOV A. 2000. The involvement of ethylene in the senescence of ranunculus flowers. *Postharvest Biology and Technology* 19: 287-290.
- KETSA S; NARKBUA N. 2001. Effect of aminooxyacetic acid and sucrose on vase life of cut roses. *Acta Horticulturae* 543: 227-234.

KNEE M. 1995. Copper reverses silver inhibition of flower senescence in *Petunia hybrida*. *Postharvest Biology and Technology* 6: 121-128.

LINEBERGER RD; STEPONKUS PL. 1976. Identification and localization of vascular occlusions in cut roses. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 101: 246-250.

MARKHART AH; HARPER, MS. 1995. Deleterious effects of sucrose in preservative solutions on leaves of cut roses. *HortScience* 30: 1429-1432.

MIDOH N; SAIJOU YS; MATSUMOTO K; IWATA M. 1996. Effects of 1,1-dimetil-4-(fenilsulfonil)semicarbazida (DPSS) on carnation flower longevity. *Plant Growth Regul* 20: 195-199.

MILLER MM. 2001. Floriculture industry overview production, sales and marketing in North América. *Acta Horticulturae* 543: 23-29.

MOR Y; HARDENBURG RE; KOFRANEK AM; REID M.S. 1981. Effect of silverthiosulfate pretreatment on vase life of cut standard carnation, spray carnations, and gladiolus, after a transcontinental truck shipment. *HortScience* 16: 766-768.

MÜLLER R; ANDERSEN AS; SEREK, M., 1998. Differences in display life miniature potted roses (*Rosa hybrida* L.). *Scientia Horticulturae* 76: 59-71.

NEWMAN JP; DOGDE LL; REID MS. 1998. Evaluation of ethylene inhibitors for postharvest treatment of *Gypsophila paniculata* L. *HortTechnology* 8: 58-63.

NOWAK J & RUDNICKI RM. 1990. *Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens, and potted plants*. Portland: Timber press. 210p.

PATARO L; SILVEIRA JUNIOR V. 2004. Relação entre o período de pós-colheita e a vida de prateleira no resfriamento de rúcula. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 6:(2) 157-164.

PORAT R; BOROCHOV A; HALEVY AH; O'Neil SD. 1994. Pollination-induced senescence of *Phalaenopsis* petals. *Plant Growth Regulation* 15: 129-136.

PORAT, R; HALEVY AH; SEREK M; BOROCHOV A. 1995. An increase in ethylene sensitivity following pollination is the initial event triggering an increase in ethylene production and enhanced senescence of *Phalaenopsis* orchid flowers. *Physiology Plant* 93: 778-784.

SANTOS RMC; RÊGO ER; NASCIMENTO MF; NASCIMENTO NFF; RÊGO MM; BORÉM A; FINGER FL; COSTA DS. 2013. Ethylene Resistance in a F2 Population of Ornamental Chili Pepper (*Capsicum annum*). *Acta Horticulturae* 501: 433-438.

SATOH S; OYMADA N; YOSHIOKA T; MIDOH N. 1997. 1,1-Dimetil-4-(fenilsulfonil)semicarbazida (DPSS) does not inhibit the *in vitro* activities of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase and ACC synthase obtained from senescing carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) petals. *Plant Growth Regulation* 23: 191-193.

SEGATTO FB. 2007. *Avaliação da Qualidade "pós-produção" de pimenta ornamental (Capsicum Annuum L.) cultivada em vaso. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 88p (Tese doutorado).*

SEGATTO FB; FINGER FL; BARBOSA JG; RÊGO ER. DO; PINTO CMF. 2012. Effects of ethylene on the post-production of potted ornamental peppers (*Capsicum annum* L.). *Acta Horticulturae* (in press).

SEREK M; JONES RB; REID MS. 1994. Role of ethylene in opening and senescence of *Gladiolus* sp. Flowers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119: 1014-1019.

SEREK M; REID M. 2000. *Ethylene and postharvest performance of potted kalanchoë. Postharvest Biology and Technology* 18: 43-48.

SEREK M; TAMARI G; SISLER EC; BOROCHOV A. 1995. Inhibition of ethylene-induced cellular senescence symptoms by 1-methylcyclopropene, a new inhibitor of ethylene action. *Physiology Plant* 94: 229-232.

SILVA DD. 2004 *Sensibilidade de duas variedades de gerânio ao etileno e tratamento com 1-mcp*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 62p (Tese de mestrado).

SUN J; JAMESON PE; CLEMENS J. 2001. Water relations and stamen abscission in cut flowers of selected Myrtaceae. *Acta Horticulturae* 543: 185-189.

VAN ALTVORST AC; BOVY AG. 1995. The role of ethylene in the senescence of carnation flowers, a review. *Plant Growth Regulation* 16: 43-53.

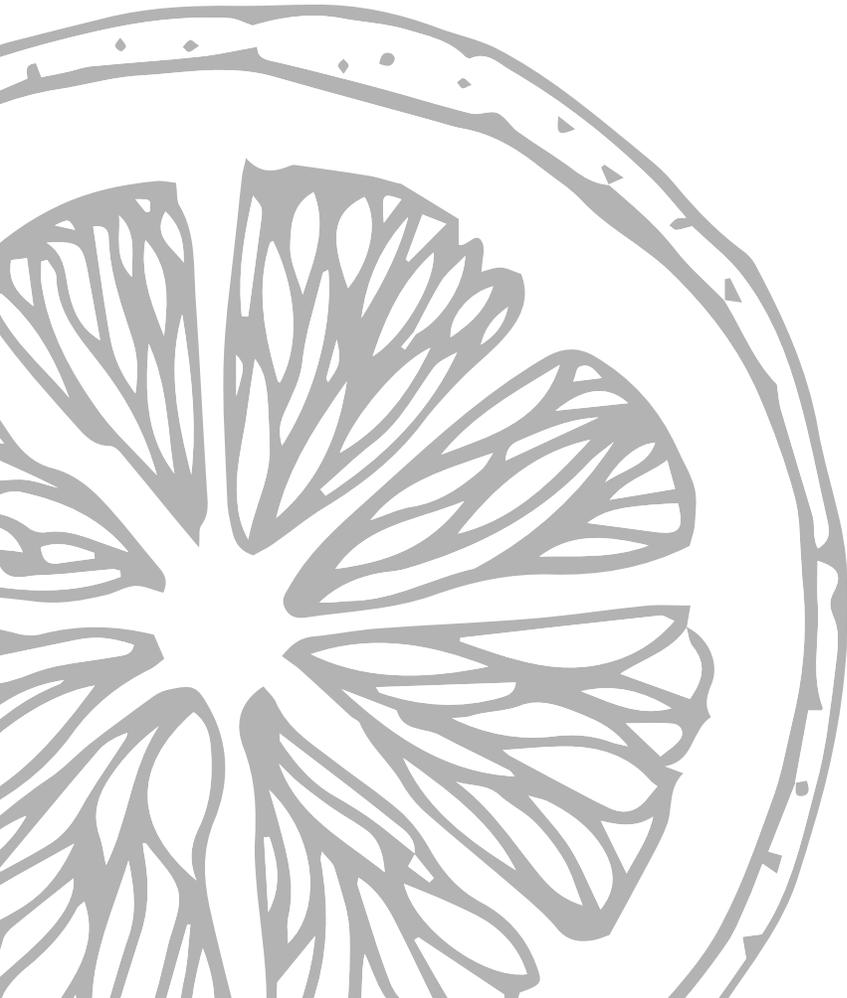
VAN DOORN WG. 2001. Role of soluble carbohydrates in flowers senescence: a survey. *Acta Horticulturae*. 543: 179-183.

VERLINDEN S; WOODSON, W.R., 1998. The physiological and molecular responses of carnation flowers to high temperature. *Postharvest Biology Technolgy* 14: 185-192.

WILLIAMSON VG; MILBURN JA. 1995. Cavitation events in cut stems kept in water: implications for cut flower senescence. *Scientia Horticulturae* 64: 219-232.

WOLTERING EJ; VAN DOORN WG. 1988. Role of ethylene in senescence of petals-morphological and taxonomical relationships. *Journal Experimental Botany* 39: 1605-1616.

CAPÍTULO 6





COLHEITA, PÓS-COLHEITA E PERDAS PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS E FRUTEIRAS TROPICAIS E DE CLIMA TEMPERADO

*Teresa D. Correia Mendes
Ana Paula Sato Ferreira
Fernando Luiz Finger
Elizanilda Ramalho do Rêgo*

1. ÍNDICES DE COLHEITA

A qualidade e a conservação pós-colheita das hortaliças e frutos é dependente do estágio de desenvolvimento do órgão ou da planta no qual é realizada a colheita. Este estágio deve atender a dois preceitos básicos:

Ter tamanho, forma, aroma e gosto compatíveis com as exigências do mercado.

Ter sobrevida pós-colheita, permitindo que o produto seja embalado, transportado e comercializado no mercado varejista.

Dessa forma, o ponto no qual será feita a colheita de hortaliças e frutos deve ser determinado levando-se em consideração o conhecimento da fisiologia da cultura, a distância do campo de produção até o mercado consumidor, o meio de transporte utilizado, a exigência do mercado para o qual será destinada a produção e a

finalidade de uso do produto, ou seja, se para consumo *in natura* ou para processamento industrial.

Além dos cuidados na determinação do ponto de colheita, é necessário que a mesma seja feita de maneira cuidadosa, a fim de se evitar danos mecânicos que reduzem o valor comercial do produto. Para isso, é importante ter mão de obra qualificada, treinada para a realização da colheita e com conhecimento da cultura de trabalho. Colher nos horários mais frescos do dia, evitar a exposição do produto colhido às altas temperaturas e evitar a colheita após fortes chuvas também são práticas recomendadas para manter a qualidade dos produtos.

Para as hortaliças, os índices de colheita mais utilizados são baseados em aspectos morfológicos ou químicos (Quadro 1).

Quadro 1 - Índices de colheita para as principais hortaliças.

| Produto | Índices de colheita |
|--------------------|--|
| Abóbora italiana | Frutos com cerca de 20 cm de comprimento. |
| Alface | Máximo tamanho sem sintomas de amarelecimento. |
| Alho e Cebola | Após tombamento da parte aérea (estalo) e/ou 40 a 70% de folhas amarelecidas ou secas. |
| Batata | Firmeza da casca e senescência da planta. |
| Batata-doce | Raízes com cerca de 300 gramas. |
| Berinjela | Frutos com coloração brilhante, polpa macia e firme, cálice verde e sementes tenras. |
| Brócolis | Tamanho máximo com inflorescência compacta, antes do início da abertura dos botões florais. |
| Cenoura | Amarelecimento das folhas mais velhas; Arqueamento das folhas mais novas; Tamanho aceitável para o mercado; Colher antes que ocorra lignificação excessiva. |
| Couve-flor | Tamanho máximo com inflorescência compacta, antes do início da abertura dos botões florais. |
| Chuchu | Frutos tenros, pesando de 100 a 300 gramas e com as sementes ainda imaturas. |
| Inhame | Rizomas com tamanho máximo mantendo-se tenros e pouco fibrosos. |
| Jiló | Frutos verdes, pesando de 20 a 30 gramas e apresentando sementes tenras. |
| Mandioquinha-salsa | Raízes com diâmetro de 3 a 4 cm, mesmo que a folhagem não tenha se tornado amarelecida. |

| | |
|----------|--|
| Pimentão | Tamanho máximo sem alterações da cor verde. |
| Quiabo | Máxima taxa de crescimento (8-12 cm de comprimento). |
| Rabanete | Diâmetro menor que 30 cm, sem estar duro e esponjoso. |
| Repolho | Cabeça sólida e firme. |
| Tomate | Tamanho do fruto; Solubilização da pectina; Coloração interna e externa. |

No caso da colheita de frutas, alguns parâmetros são utilizados para a determinação do índice de colheita. Dentre esses parâmetros temos, de acordo com Fachinello & Nachtigal (2012):

a. Dias após a floração – número de dias entre a floração e o amadurecimento;

b. Mudanças na coloração da casca – utilizada para a maioria dos frutos e requer experiência do produtor (colhedor);

c. Firmeza da polpa – determinada com o aparelho denominado penetrômetro. Dá informação sobre o grau de resistência da polpa, ou seja, o grau de maciez da polpa e é recomendado que se avalie em pelo menos 2 pontos opostos do fruto pois o amadurecimento não ocorre de maneira uniforme em todo o fruto;

d. Crescimento do fruto – os frutos atingem peso e tamanho máximos antes de iniciarem o amadurecimento;

e. Teor de sólidos solúveis totais (SST) – indica a quantidade de açúcares presente no fruto. É medido utilizando-se o refratômetro;

f. Acidez total titulável (ATT) – representa a acidez presente no fruto. Tende a diminuir ao longo do amadurecimento e é medida através de titulação com hidróxido de sódio;

g. Relação entre SST/ATT – é um indicativo de sabor do fruto e dependente da cultivar avaliada;

h. Teste iodo-amido – muito usado para a colheita de maçã. Avalia quanto do amido presente nos fruto foi hidrolisado.

No quadro abaixo contém alguns exemplos de índices de colheita usados para as principais fruteiras tropicais, subtropicais e de clima temperado.

Quadro 2 - Índice de colheita de algumas fruteiras tropicais, subtropicais e de clima temperado.

| Produto | Índice de colheita |
|----------------|---|
| Abacate | Casca opaca; Polpa com cor verde-clara uniforme. |

| | |
|-----------|---|
| Abacaxi | <p>Malha mais aberta;</p> <p>Polpa translúcida;</p> <p>Casca com primeiros sinais de amarelecimento (in natura, mercados locais);</p> <p>Metade da casca amarela (in natura, mercados distantes);</p> <p>Casca amarela (indústria);</p> <p>SST > 12º brix.</p> |
| Ameixa | <p>Polpa macia;</p> <p>Alteração de cor verde para vermelho.</p> |
| Banana | <p>Desaparecimento das quinas ou angulosidade;</p> <p>Diâmetro da metade do fruto localizado no centro da segunda penca (geralmente para exportação).</p> |
| Caju | <p>Tamanho máximo;</p> <p>Textura firme da polpa;</p> <p>Coloração característica.</p> |
| Carambola | 25-75% da superfície da casca amarelada |
| Caqui | Casca passa de verde para amarelo-avermelhada. |
| Framboesa | Amadurecimento completo do fruto. |

| | |
|---------|--|
| Goiaba | <p>Coloração verde e fruto firme (mercados distantes e indústria);</p> <p>Coloração amarelada e frutos macios (mercados próximos).</p> |
| Laranja | <p>Mínimo de 35-45% de suco;</p> <p>SST: 9-10° brix;</p> <p>SST/ATT: 8,5 a 10.</p> |
| Limão | <p>Mínimo de 40% de suco;</p> <p>Perda da rugosidade da casca;</p> <p>Variação da cor de verde-escuro para verde-claro.</p> |
| Maçã | <p>Coloração verde-clara;</p> <p>SST > 11° brix.</p> |
| Mamão | <p>Presença de estrias ou faixas com 50% de coloração amarela;</p> <p>Passagem da cor verde-escuro para verde-clara, com sementes escuras e início da cor rósea da polpa (exportação e armazenamento por longo período).</p> |
| Manga | <p>Redução da curvatura do ombro;</p> <p>110-120 dias após a floração;</p> <p>SST > 8° brix.</p> |

| | |
|------------------|---|
| Melão | > 9% SST; Formação da zona de abscisão; Facilidade de remoção da planta; Dias após a floração. |
| Melancia | > 10% SST; Som que indica presença de espaço oco no interior ao bater no fruto; Passagem de branco para amarelo da parte do fruto que fica em contato com o solo. |
| Maracujá amarelo | Coleta dos frutos que caem no chão. |
| Morango | 50-75% da superfície da casca de coloração vermelho brilhante. |
| Pêssego | Cor da casca passa de verde para branco-creme ou amarelo-clara (depende da cultivar); Polpa macia; SST > 9° brix ou SST > 12° brix (depende da cultivar). |
| Uva | SST > 15° brix; Mudança de cor característica da cultivar. |

É importante salientar que os equipamentos, máquinas e utensílios usados durante a colheita devem ser limpos e desinfetados

para evitar a contaminação das hortaliças e frutas por microrganismos patogênicos. Além disso, após a colheita é feita uma seleção prévia, retirando os frutos e hortaliças com doenças, danificados e deformados, que não possuem valor comercial.

2. LIMPEZA

A limpeza de hortaliças e frutas é recomendada para retirada de restos de solo que pode vir juntamente com o produto colhido e desinfecção de microrganismos patogênicos. Essa etapa pode ser feita pelo uso de água, escovas ou jatos de ar, dependendo do produto. Para raízes é comum usar sistema de escovas cilíndricas rotativas e para produtos mais delicados utilizam-se jatos de ar (Censi, 2008).

A água é usada para aqueles produtos que suportam o molhamento. A lavagem pode ser realizada por imersão, jatos de água ou pelas duas modalidades associadas. A água utilizada deve ser limpa para as etapas iniciais de lavagem e potável para o enxague final. Durante a lavagem usa-se água clorada, com níveis de cloro livre entre 15 a 50 mg L⁻¹, pH variando entre 6 e 7 e temperatura sempre 4 a 5°C maior que a temperatura das hortaliças e frutos, para se evitar sucção de água pelo produto (Moretti et al., 2003). Os equipamentos usados no sistema de lavagem devem sempre passar por manutenção, uma vez que se verifica com frequência o entupimento dos bicos de lavagem.

A lavagem de pencas de banana ocorre em tanques de imersão com solução de detergente neutro variando de 0,02 a 0,2% dependendo do tamanho do tanque. Adiciona-se também à solução 0,02 a 0,5% de sulfato de alumínio, produto usado para coagulação da seiva. Nesse caso, a dosagem menor é para regiões frias e a maior para regiões quentes. Caso não se disponha de sistema de água corrente, deve-se trocar a solução do tanque à medida que se observa o acúmulo de impureza (Borges et al., 2009). Para citros é recomendado usar tanques com bomba para agitação e circulação de água a fim de eliminar de maneira mais eficiente as impurezas e facilitar a reposição da água usada. A concentração de sanitizante e a qualidade da água devem ser periodicamente avaliadas durante a limpeza (Azevedo, 2007).

De modo geral, os produtos usados na lavagem devem ser neutros ou específicos para a cultura e os sanitizantes devem estar de acordo com a legislação vigente. A qualidade da água deve ser constantemente monitorada e a água residual deve passar por tratamento antes de ser devolvida ao meio ambiente (Azevedo, 2007).

3. CLASSIFICAÇÃO

As hortaliças são classificadas de acordo com normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A classificação, além de ser uma forma de unificar a linguagem no mercado, garante que o produtor de hortaliças e frutas de alta

qualidade seja reconhecido e que o comprador conheça o tipo de produto que está adquirindo. De acordo com Luengo & Calbo (2006) a classificação de hortaliças e frutas tem como vantagens:

- a. Melhorar a apresentação do produto devido à uniformidade das características de tamanho, cor e forma;
- b. Maior recompensa econômica para produtos de qualidade superior;
- c. Evitar que produtos sem valor de consumo sejam transportados, ou seja, há economia de trabalho e evita a contaminação de produtos sadios por produtos contaminados com pragas e/ou doenças;
- d. Reduzir perdas pós-colheita e aumentar o valor nutricional devido à maior rapidez de negociação na compra e venda e menor manuseio do produto;
- e. Maior conhecimento das preferências e aceitação dos consumidores;
- f. Maior satisfação do consumidor que compra de acordo com as informações de classificação.

Frutas e hortaliças são classificadas, de acordo com padrões pré-estabelecidos, em relação à cultivar (grupo), o tamanho, comprimento ou diâmetro (classe) e quantidade de defeitos leves e graves (categoria). Cada produto tem sua classificação específica e, para alguns casos, há ainda as categorias de subgrupo, como é o caso do mamão, e subclasse, como é o caso da banana. Os defeitos leves não inviabilizam o consumo do produto, porém reduz o seu

valor comercial. Já os defeitos graves além de depreciarem muito a aparência, tornam a hortaliça ou fruta inviável para o consumo. A porcentagem de defeitos graves e leves determina em qual categoria se encaixa o produto. A classificação é então preenchida no rótulo da embalagem, indicando o grupo, a classe e a categoria à qual pertence a hortaliça ou fruta classificada.

A classificação pode ser feita por três sistemas: manual, mecânico e eletrônico. No sistema manual são necessários operadores treinados e com bom conhecimento do produto a ser classificado. No sistema mecânico são utilizados equipamentos como a correia de lona furada, rolete transversal, rolete longitudinal, taças ou bandeja e esteira de grades que tornam a classificação mais eficiente que o sistema manual. O sistema eletrônico classifica os produtos de acordo com o diâmetro, peso, cor, defeito e forma, com maior precisão que os demais sistemas citados acima.

De acordo com o CEASA-Campinas já existem 33 produtos com as normas de classificação já aprovadas, representando 90% do volume de hortaliças e frutas. Nos sites do CEASA-Campinas (www.ceasacampinas.com.br), CEAGESP (www.ceagesp.gov.br) e CEASA-MG (www.ceasaminas.com.br) são encontradas cartilhas com as normas de classificação para várias hortaliças e frutas, como por exemplo, batata, berinjela, cenoura, pimentão, abacaxi, banana, maçã, uva, dentre outras. Como exemplo, vamos mostrar como é feita a classificação de cenoura, manga e uva.

A classificação feita para cenoura é de acordo com a cultivar, o tamanho da raiz e a quantidade de defeitos leves e graves

(CEASAGESP). De acordo com a cultivar, a cenoura pode pertencer aos grupos:

- Kuroda: formato cônico, ponta arredondada, coração pouco evidente, coloração laranja avermelhada e pescoço pequeno (Figura 1).



Figura 1 - Cenoura do grupo Kuroda. (Fonte: Ceagesp, 2020)

- Nantes: 90% da produção cilíndrica, ponta arredondada, coração pouco evidente, casca lisa, coloração laranja escura e pescoço pequeno (Figura 2).



Figura 2 - Cenoura do grupo Nantes. (Fonte: Ceagesp, 2020)

- Brasília: Formato cônico, coração evidente, ponta pouco fechada, casca pouco lisa, cor laranja clara e pescoço grande (Figura 3).



Figura 3 - Cenoura do grupo Brasília. (Fonte: Ceagesp, 2020)

De acordo com o comprimento da raiz existem as seguintes classes:

- Classe 10: comprimento da raiz maior ou igual a 10 cm e menor que 14 cm;
- Classe 14: comprimento da raiz maior ou igual a 14 cm e menor que 18 cm;
- Classe 18: comprimento da raiz maior ou igual a 18 cm e menor que 22 cm;
- Classe 22: comprimento da raiz maior ou igual a 22 cm e menor que 26 cm;
- Classe 26: comprimento da raiz maior ou igual a 26 cm.

Os defeitos graves que podem ocorrer nas raízes de cenoura são a podridão mole, deformação de raízes, ombro verde ou roxo (mais que 10% da área), raízes lenhosas, rachadas, murchas, apresentando dano mecânico (mais que 10% da área ou mais que 3 mm de profundidade), com podridão seca e injuriada por pragas ou

doenças. Os defeitos leves são o corte inadequado do caule, presença de ombro verde ou roxo em menos de 10% da área, dano mecânico em menos de 10% da área ou com profundidade menor que 3 mm, radículas, mancha em mais que 10% da área (Figuras 4 a 7).



Figura 4 - ombro verde ou roxo (menos que 10% da área) – defeito leve.
Fonte: Ceagesp, 2020)



Figura 5 - Presença de radículas – defeito leve. (Fonte: Ceagesp, 2020)



Figura 6 - Cenoura rachada – defeito grave. (Fonte: Ceagesp, 2020)



Figura 7 - Deformação em cenoura – defeito grave. (Fonte: Bonaldo, 2008)

A cenoura será classificada em EXTRA, categoria I (CAT I), categoria II (CAT II) e categoria III (CAT III) de acordo com a qualidade, considerando a porcentagem de defeitos graves e leves. No rótulo da embalagem deverá vir o grupo, a classe e a categoria à qual pertence o lote de cenoura classificado.

A manga é classificada de acordo com a cultivar, tamanho, grau de amadurecimento e porcentagem de defeitos leves e graves. De acordo com a cultivar a manga é classificada nos grupos:

- Monoembriônico ou indiano: semente possui apenas um embrião de origem sexual, originando uma única planta. Fruto oval, casca rósea a avermelhada. Exemplo: Haden, Tommy Atkins.

- Poliembriônico ou indochinês: semente possui embrião de origem sexual e embriões de origem nucelar, assexuais. Fruto oblongo e cor da casca variando de esverdeada a amarelada. Exemplo: Espada, Bourbon.

De acordo com o peso do fruto, a manga pode pertencer às classes:

- Classe 100: peso do fruto variando de 100 a 200 gramas;
- Classe 200: peso do fruto variando de 201 a 350 gramas;
- Classe 350: peso do fruto variando de 351 a 550 gramas;
- Classe 550: peso do fruto variando de 551 a 800 gramas;
- Classe 800: frutos com peso maior que 800 gramas.

A cor da polpa do fruto é classificada nas seguintes subclasses (Figura 8):

- Creme: fruto número 1 na figura abaixo;
- Creme amarela: fruto número 2 na figura abaixo;
- Amarela: fruto número 3 na figura abaixo;
- Amarela alaranjada: fruto número 4 na figura abaixo;
- Alaranjada: fruto número 5 na figura abaixo.

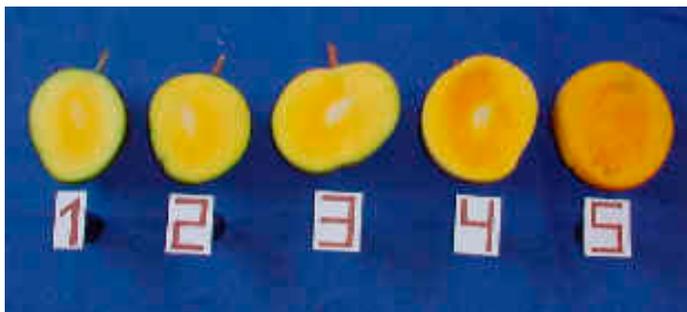


Figura 8 - Subclasses de manga, de acordo com a coloração da polpa.
(Fonte: Assis, 2004).

A categoria do fruto é determinada de acordo com sua qualidade. Os defeitos graves são dano por temperatura, dano profundo, podridão, distúrbio fisiológico e fruto imaturo. Como defeito leve tem-se o fruto deformado (Figuras 9 a 11).



Figura 9 - Dano por temperatura – defeito grave.
(Fonte: Ceagesp, 2004).



Figura 10 - Dano por podridão – defeito grave. Fonte Ceagesp, 2004.



Figura 11 - Fruto deformado – defeito leve. Fonte Ceagesp, 2004.

Assim como no caso da cenoura, a manga será classificada em EXTRA, categoria I (CAT I), categoria II (CAT II) e categoria III (CAT III). No rótulo deverá vir informado o grupo, a classe, a subclasse e a categoria à qual pertence o lote classificado.

A uva, uma fruteira de clima temperado, também possui normas de classificação. De acordo com o CEASA-MG, a classificação

de uva é feita considerando a cor, a uniformidade e peso dos cachos e a porcentagem de defeitos graves e leves.

Quanto à coloração característica da variedade, a uva pode ser dos seguintes grupos:

- Rosada
- Branca
- Preta

O subgrupo é determinado de acordo com a mistura de grupos existente na embalagem. Dessa forma, o lote será do subgrupo uniforme se na embalagem estiverem uvas do mesmo grupo, e do subgrupo misto, se houver mistura de grupos na embalagem.

O peso dos cachos diferencia as classes:

- Classe 1 ou 50: peso do cacho maior ou igual a 50 gramas e menor que 150 gramas;
- Classe 2 ou 150: peso do cacho maior ou igual a 150 gramas e menor que 250 gramas;
- Classe 3 ou 250: peso do cacho maior ou igual a 250 gramas e menor que 350 gramas;
- Classe 4 ou 350: peso do cacho maior ou igual a 350 gramas e menor que 450 gramas;
- Classe 5 ou 450: peso do cacho maior que 450 gramas.

Os defeitos graves são a degrana, podridão, falta de limpeza, dano profundo e imaturidade do cacho (uva com SST < 14 ° brix). Já os defeitos leves são a queimadura por sol, dano superficial cicatrizado, ausência de pruína e cachos mal formados (Figura 12 a 14).



Figura 12 - Cacho apresentando degrana – defeito grave.
(Fonte: Ceasaminas, 2012)



Figura 13 - Cacho com dano cicatrizado – defeito leve.
(Fonte: Ceasaminas, 2012)



Figura 14 - Cacho mal formado – defeito leve
(Fonte: Ceasaminas, 2012)

Como nos exemplos anteriores, a porcentagem de defeitos graves e leves vão levar à classificação do lote em EXTRA, categoria I (CAT I), categoria II (CAT II) e categoria III (CAT III). No rótulo deverá vir informado o grupo, o subgrupo, a classe e a categoria à qual pertence o lote.

Além dessas instruções, o rótulo contido na embalagem também deve informar o produto embalado, o nome, endereço e número de inscrição do produtor, o peso líquido e a data de acondicionamento do produto.

4. EMBALAGENS

As embalagens têm a função de permitir o manuseio adequado e rápido do produto em larga escala e protege-lo durante o transporte, armazenamento e comercialização. A instrução normativa do Ministério da Agricultura número 009 datada de 12 de novembro 2002, estabelece que as normas para embalagens

para a comercialização dos produtos hortícolas devem ter como características:

- a. Dimensões externas que permitam o empilhamento em palete de 1,0 x 1,2 m;
- b. Devem ser íntegras e higienizadas;
- c. Ser descartáveis ou retornáveis. Se retornáveis, devem ser higienizadas após cada uso;
- d. Seguir as normas higieno-sanitárias para alimentos;
- e. Conter rótulo com informações sobre a qualidade e quantidade de produto armazenado.

As embalagens usadas também devem permitir o resfriamento, o rápido fechamento e abertura e ter custo compatível com o produto armazenado. A sua resistência mecânica deve suportar o manuseio e transporte sem causar danos ao produto e não deve ser alterada quando a embalagem for molhada ou em condição de alta umidade relativa do ar. Não deve existir movimento do produto dentro da embalagem e a mesma não deve conter substâncias tóxicas que possam ser transmitidas ao ser humano.

O desenho da embalagem com relação à razão entre o comprimento, largura e altura é importante para permitir adequado acondicionamento do produto, empilhamento e segurança durante as operações de carga e descarga. Existe uma razão ótima entre o comprimento e largura que é de 1,5:1. A altura das caixas será função da capacidade do produto em tolerar maior ou menor compressão por parte do próprio produto acondicionado e é de 50 a 100% da largura. De acordo com Luengo *et al* (2003) para produtos como

cebola, inhame, maxixe, cenoura, rabanete e vagem a altura da caixa não é limitante para que a hortaliça ou fruta apresente no máximo 5% da superfície amassada. Já para tomate e uva, a altura torna-se limitante uma vez que são produtos mais sensíveis, e nesse caso, deve-se verificar qual altura é ideal para que se tenha o mínimo de amassamento. Recomenda-se que o peso máximo que uma caixa com produto suporte não exceda 20 kg, porque pesos superiores tendem a elevar os problemas com injúrias mecânicas dos produtos. Além disso, existe uma recomendação da Organização Internacional do Trabalho de que o peso máximo manipulado por pessoas no trabalho não deve colocar em risco a saúde e a segurança do trabalhador (Wills *et al.*, 1998).

Os tipos de embalagens existente são:

- Caixas de madeiras (caixa k, caixa engradado);
- Sacos – papel, polietileno, sisal, fibra de polipropileno;
- Caixas plásticas de polietileno ou polipropileno;
- Papelão ondulado.

As caixas de madeira, apesar do baixo custo, têm a desvantagem de não permitir a higienização e de causar danos mecânicos nos produtos devido ao fato da madeira ser um material bastante abrasivo (Figuras 15, 16 e 17). As embalagens em sacos oferecem proteção ao produto, mas são de difícil empilhamento, e, muitas vezes, permitem o movimento das hortaliças e frutos dentro da embalagem (Figura 18). As caixas plásticas, apesar de possuírem um custo inicial mais elevado, permitem a lavagem e higienização e não danificam o produto como as caixas de madeira (Figuras 19 e 20).

Por fim, as caixas de papelão além de oferecer proteção, permitem a impressão do rótulo nela mesma e são descartáveis, sendo muito utilizadas para exportação (Figuras 21 e 22).



Figura 15 - Caixa K comercializada no Ceasaminas.



Figura 16 - Caixa de madeira para a comercialização de repolho



Figura 17 - Caixa de madeira com proteção plástica para a comercialização de alface.



Figura 18 - Saco de nylon com limão.



Figura 19 - Caixa plástica usada na comercialização abacaxi



Figura 20 - Caixas plásticas sendo higienizadas no CEAGESP – São Paulo.
(Fonte: Garone & Pinheiro, 2010)



Figura 21 - Caixas de papelão ondulado comercializada no CEASAMINAS.



Figura 22 - Caixa de papelão usada na comercialização do melão Cantaloupe.

Atualmente nos CEASA ainda são utilizadas as embalagens definidas na portaria do Ministério da Agricultura de número 127, de outubro de 1991. No Ceasa Minas entrou recentemente em vigor o sistema de 'Banco de Caixas' para tomate e banana. Esse sistema garante a higienização das caixas plásticas usadas na comercialização no Ceasa, através do uso de vale-caixas. Ao entregar a mercadoria em caixas plásticas ao comprador, o produtor receberá os vale-caixas que lhe garantirá o direito de trocar esses vales por caixas plásticas já higienizadas no banco de caixas. De maneira oposta, o comprador ao chegar ao Ceasa deixa as caixas plásticas vazias e sujas no banco de caixas e recebe os vale-caixas. Na compra de novas mercadorias ele receberá caixas limpas e higienizadas. Essa seria, portanto, uma

maneira de padronizar e garantir que as caixas plásticas usadas na comercialização no Ceasa Minas estão limpas e sanitizadas.



Figura 23 - Caixas plásticas usadas no sistema de 'Banco de caixas' do CEASAMINAS.

Tabela 3 - Dimensões e uso das principais embalagens utilizadas no acondicionamento de hortaliças e frutas.

| Embalagem | Dimensões internas (mm) | Produto |
|--|---|------------------------------|
| Saco de juta, polietileno ou polipropileno | 830 × 500 | Batata |
| Saco de polietileno ou polipropileno | 750 × 480 | Cebola |
| Saco de polietileno ou polipropileno | 850 × 520 | Abóbora, repolho, couve-flor |
| Engradado de madeira | Comprimento: 600 Largura: 450 Altura: 360 | Alface, Couve-flor, Repolho |

| | | |
|-----------------------------|---|--|
| Caixa K | Comprimento: 495 Largura: 355 Altura: 220 | Tomate, Berinjela, Pimentão, Cenoura, Quiabo, Vagem, Beterraba, Pepino, Chuchu |
| Madeira ou papelão ondulado | Comprimento: 620 Largura: 360 Altura: 180 | Melões |
| Oitavada-madeira | Comprimento: 500 Largura: 305 Altura: 160 | Alho |

Fonte: Ministério da Agricultura - Embalagens de Produtos Hortícolas, 1991.

5. PERDAS PÓS-COLHEITA DE HORTALIÇAS E FRUTAS

O mercado de hortaliças e frutas requer atenção não somente durante o período de pré-colheita, mas também, e, até mesmo principalmente, cuidados especiais durante a colheita e o período pós-colheita. A perda pós-colheita de hortaliças e frutas é um problema sério que causa a redução da oferta final do produto comercializável. Para se ter ideia, a porcentagem de perda desses produtos é de até 40% na maioria dos países em desenvolvimento. Essas perdas podem ser de três tipos: fisiológica, por dano mecânico ou pela incidência de parasitas, além de poderem ser de natureza quantitativa ou qualitativa.

Hortaliças e frutos são organismos vivos, e, portanto, mantém o metabolismo ativo mesmo após a colheita. Com isso, ao longo do transporte e armazenamento, esses produtos sofrem ação de agentes de natureza fisiológica, ou endógenos, e respondem a fatores do ambiente, tanto aqueles abióticos quanto os bióticos.

As perdas são cumulativas durante toda a cadeia de comercialização. Elas ocorrem durante a colheita e embalagem, com a retirada de produtos que não se encaixam nos padrões determinados de qualidade e o uso de embalagens inadequadas; durante o transporte, devido ao fato do transporte de hortaliças e frutos ser feito principalmente por caminhões que não possuem sistema de refrigeração e trafegam por estradas de má qualidade; nos mercados atacadistas e varejistas, uma vez que funcionários não são treinados para manipular de maneira adequada os produtos e

os depósitos e gôndolas de exposição não apresentam as condições necessárias para favorecer o armazenamento dos produtos, e, por fim, ocorrem perdas pelo manuseio dos consumidores no momento de compra. Dessa forma, ao longo da cadeia de comercialização há a ocorrência de um ou mais fatores de deterioração como segue:

- a. Perda física do produto por danos mecânicos ou pela presença de doenças ou insetos.
- b. Perda de água pelo processo transpiratório.
- c. Perda por extremos de temperatura – congelamento ou estresse por altas temperaturas.
- d. Redução da energia armazenada (carboidratos ou lipídeos) pelo processo respiratório.
- e. Perda da qualidade pela degradação de vitaminas.
- f. Desenvolvimento de distúrbios fisiológicos, por exemplo, a injúria por frio
- g. Germinação de sementes – em armazenamento prolongado pode haver germinação de semente dos frutos, como observado em algumas variedades de tomate.
- h. Aumento da fibrosidade – sintoma comum em frutos de quiabo colhidos tardiamente.

A colheita dos frutos no estágio adequado de maturação, a manipulação adequada da temperatura, umidade do ar, concentração dos gases respiratórios O_2 e CO_2 , níveis de etileno, redução da incidência de danos mecânicos e aplicação de tratamentos fitossanitários permitem minimizar a ação dos fatores de deterioração com conseqüente extensão da vida pós-colheita. É importante

ressaltar que a qualidade de hortaliças e frutos é atingida no campo, e que, a cadeia de comercialização deve ter como objetivo principal prover condições ideais para manter a qualidade obtida, resultando num maior período pós-colheita e na maior redução das perdas.

6. INJÚRIA MECÂNICA EM HORTALIÇAS E FRUTAS

O dano ou injúria mecânica é um dos principais causadores de perdas pós-colheita. Ele ocorre ao longo de toda cadeia de comercialização de frutas e hortaliças devido dentre outros fatores, ao uso incorreto de embalagens, ao excesso de manipulação desses produtos e à falta de treinamento dos trabalhadores que lidam com esse setor.

A injúria mecânica causa distúrbios relativos à compartimentalização celular e aumenta a produção de etileno, a taxa respiratória e a velocidade de deterioração. Prejudica também a aparência do produto, causando escurecimento, e constitui-se entrada para patógenos, disseminando doenças pós-colheita (Luengo et al., 2003). O dano mecânico aumenta a atividade da enzima fenilalanina amônia liase (PAL), que é enzima-chave para a produção de compostos fenólicos solúveis (Dixon & Paiva, 2005). Esses compostos são oxidados a quinonas pela ação das enzimas polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POD). As quinonas, portanto, são polimerizadas formando pigmentos escuros (Degl'Innocenti et al, 2005), que causam o escurecimento e

amargor dos produtos danificados. Folhas de taioba apresentaram aumento significativo de 44 e 50% no acúmulo de compostos fenólicos solúveis 4 e 6 horas após sofrerem injúria mecânica, respectivamente. Os autores atribuem este fato ao escurecimento observado nas folhas (Mendes et al, 2011).

De acordo com Amorim et al. (2008) a injúria mecânica foi o dano mais frequente ocorrido em nectarinas, pêssegos e ameixas comercializadas no CEAGESP nos anos de 2003 e 2004. Em mandioquinha-salsa, o tipo de dano mecânico mais frequentemente encontrado nas raízes foi a abrasão, sendo que 13,3% ocorreu na colheita, 19,7% nas raízes não lavadas, 24,9% nas raízes lavadas, 47,2% no atacado e 78,9% no varejo. No atacado também houve a incidência de outros tipos de dano como ruptura (7,6%), rachadura (4,2%) e quebra (10,6%) de raízes. O ponto crucial para a ocorrência das injúrias parece ter sido entre as etapas de lavagem e o atacado, possivelmente devido ao uso de embalagens inadequadas e ao transporte ainda precário (Souza et al., 2003). A avaliação de caixas de goiaba comercializada no CEAGESP mostrou que 98% das caixas continham pelo menos 1 fruto danificado mecanicamente e 63% dos frutos analisados apresentaram algum tipo de injúria. Ainda de acordo com o trabalho realizado, a incidência de injúria mecânica nos frutos foi significativamente maior que a incidência de doenças pós-colheita (Martins et al., 2007).

De maneira geral, as perdas por dano mecânico podem ser evitadas com certos procedimentos como os seguintes: treinamento dos trabalhadores para o manuseio correto e não excessivo dos produtos, realização da colheita no índice de colheita indicado para

cada produto, uso de caixas ideais para cada produto individual e evitando o enchimento excessivo das caixas (Figura 24).



Figura 24 - Dano mecânico em tomate.

7. REFERÊNCIAS

AMORIM L; MARTINS MC; LOURENÇO SA; GUTIERREZ ASD; ABREU FM; GONÇALVES FP. 2008. Stone fruit injuries and damage at the wholesale market in São Paulo, Brazil. *Postharvest Biology and Technology* 47: 353-357.

ASSIS JS. 2004. *Cultivo da mangueira*. Sistemas de Produção, 2. Embrapa Semiárido. ISSN 1807-0027 versão eletrônica.

AZEVEDO CLL. 2007. Produção integrada de citros-BA. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 15. ISSN 1678-8796 versão eletrônica.

BONALDO SM. *Galeria de fotos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível:<http://www.ufrgs.br/agrofitossan/galeria/tipos_detalhes.asp?id_registro=979&id_nome=114>. Acessado em 17 de fevereiro de 2012.

CENSI SA. 2006. Boas práticas de pós-colheita de frutas e hortaliças na agricultura familiar. In: NETO FN. (Org.). *Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar*. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 67-80.

BORGES AL; SILVA AL; BATISTA DC; MOREIRA FRB; FLORI JE; OLIVEIRA JEM; ARAÚJO JLP; PINTO JM; CUNHA E CASTRO JM; MOURA MSB; AZOUBEL PM; CUNHA TJF; OLIVEIRA E SILVA S; CORDEIRO ZJM. (2009). Sistema de Produção de Banana Irrigada. Embrapa Semiárido, 4. ISSN 1807-0027 versão eletrônica.

DEGL'INNOCENTI E; GUIDI L; PARDOSSI A; TOGNONI F. 2005. *Biochemical study of leaf browning in minimally processed leaves of lettuce (Lactuca sativa L. var. Acephala)*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 9980-9984.

DIXON RA; PAIVA NL. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell* 7: 1085-1097.

FACHINELLO JC; NACHTIGAL JC. Parâmetros para determinação do ponto de colheita. In: *Fruticultura – Fundamentos e Práticas*. Disponível em <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/fruticultura_fundamentos_pratica/12.2.htm>. Acessado em 15 de fevereiro de 2012.

LUENGO RFA; CALBO AG; JACOMINO AP; PESSOA JDC. 2003. Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização. *Horticultura Brasileira* 21: 704-707.

LUENGO RFA; CALBO AG. 2006. Classificação de hortaliças e frutas. Circular Técnica 43 Brasília.

MARTINS MC; AMORIM L; LOURENÇO SA; GUTIERREZ ASD; WATANABE HS. 2007. Incidência de danos pós-colheita em goiabas no mercado atacadista de São Paulo e sua relação com a prática de ensacamento dos frutos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal 29: 245-248.

MENDES TDC; SANTOS JS; VIEIRA LM; CARDOS DSCP; FINGER FL. 2011. Influência do dano físico na fisiologia pós-colheita de folhas de taioba. *Bragantia* 70: 682-687.

MORETTI CL. 2003. Boas práticas agrícolas. *Horticultura Brasileira* 21: Suplemento CD.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MELHORIA DOS PADRÕES COMERCIAIS E EMBALAGENS DE HORTIGRANJEIROS. 2020. Classificação de cenoura. Centro de Qualidade de Horticultura, São Paulo: CEAGESP.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. 2004. Normas para classificação de manga. Centro de Qualidade de Horticultura, São Paulo: CEAGESP. p. 6.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. 2012. *Uva rústica*. CEASAMINAS. Disponível em <<http://www.ceasaminas.com.br/agroqualidade/uvaniagara.asp>>. Acessado em 17 de fevereiro de 2012.

SOUZA RM; HENZ GP; PEIXOTO JR. 2003. Incidência de injúrias mecânicas em raízes de mandioquinha-salsa na cadeia pós-colheita. *Horticultura Brasileira* 21: 712-718.

UAI. HIGIENIZAÇÃO E LOGÍSTICA. *Banco de caixas. Qualidade e higiene dos produtos comercializados pelo produtor rural*. Ceasa-MG. Disponível em <<http://www.ceasaminas.com.br/caixasplasticas/logistica.pdf>>. Acessado em 17 de fevereiro de 2012.

WILLS R; McGLASSON B; GRAHAM D; JOYCE D. 1998. *Postharvest – an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals*. Oxon: CABI. 262p.

CAPÍTULO 7





TRATAMENTOS PÓS-COLHEITA: PRÉ-RESFRIAMENTO, REHIDRATAÇÃO E REFRIGERAÇÃO

Rithiely Paschoa Queiroz Cavatte

Tania Pires da Silva

Cristina Soares de Souza

Fernando Luiz Finger

1. INTRODUÇÃO

A qualidade das frutas, flores e hortaliças consumidas no mundo todo é determinada pela exuberância e frescor dos produtos comercializados, entretanto, a comercialização das mesmas é fortemente influenciada pelo fato de que são produtos perecíveis e requerem cuidados especiais. Estes produtos são também matéria-prima para diversas indústrias alimentares e de congelados. As características morfológicas, anatômicas, fisiológicas e a sua composição química, tornam a maior parte das frutas e hortaliças produtos muito perecíveis. Vários produtos deste grupo são frequentemente consumidos *in natura*, assim, a segurança alimentar deve ser assegurada através de medidas preventivas, durante a produção e subseqüente manuseamento pós-colheita.

De fato, a aparência das frutas, flores e hortaliças desempenha um papel fundamental na imagem do padrão de qualidade dos estabelecimentos de distribuição. Uma mercadoria comum, de uma mesma marca, pode-se encontrar em diversos estabelecimentos comerciais, ao passo que a qualidade dos produtos frescos pode fazer a diferença, dando fluidez às transações comerciais. A qualidade intrínseca, sabor, aroma e valor nutritivo também se alteram durante o período pós-colheita. A maioria dos habitantes, da sociedade moderna, vive afastada do local de produção dos gêneros alimentícios e exige a sua disponibilidade no mercado ao longo de todo o ano. Além disso, exigências logísticas e de mercado, obrigam a modificações nos produtos que são colhidos.

Existem algumas técnicas pós-colheita que visam prolongar a vida de prateleira de produtos hortícolas. Dentre essas técnicas, a refrigeração, procedimento pós-colheita relativamente simples, reduz o metabolismo do produto, permitindo menor perda de água do órgão armazenado e dificultando o desenvolvimento de doenças pós-colheita. Além de prolongar a vida de prateleira dos produtos sem resultar em grandes custos ao produtor, o armazenamento refrigerado associado ao controle de umidade contribui para a manutenção das características desejáveis sensoriais e nutricionais dos produtos (Cenci, 2006).

Em resumo, a pós-colheita dos produtos hortícolas frescos começa no ato da colheita e termina com o consumo. Muitos produtos hortícolas nunca chegam a ser consumidos, devido à morte dos órgãos vegetais como resultado da senescência, de acidentes, ou devido à ação de patógenos. Estas características são decorrentes

quando não são aplicadas metodologias de conservação eficientes ao longo de toda cadeia.

2. PRÉ-RESFRIAMENTO

Ao serem colhidos, produtos hortícolas iniciam acelerado processo de deterioração, porém, a vida de prateleira é determinada pela combinação de fatores internos e externos aos órgãos vegetais. O murchamento e/ou enrugamento de frutos e hortaliças são os sintomas iniciais da excessiva perda de água (Finger & Vieira, 2007) que afeta diretamente a aparência e o peso do produto comercializado. Com a rápida deterioração e intensa perda de água, produtos muito perecíveis como as hortaliças folhosas e inflorescências, têm potencial de conservação reduzido, exigindo consumo imediato ou utilização de técnicas de conservação pós-colheita (Finger et al., 1999).

Como exemplo de perda durante o armazenamento, alguns dos pigmentos das hortaliças são alterados consideravelmente. A perda da característica verde se deve a degradação da clorofila a qual é acompanhada da síntese de outros pigmentos ocorrendo amarelecimento das hortaliças. É a mudança mais visível que ocorre durante a senescência das folhosas e marcadamente influenciada por fatores ambientais como luz, temperatura e umidade do ar e por fatores individuais a cada produto (Wills et al., 1998).

A temperatura é um dos fatores mais importantes que afetam a vida pós-colheita e a qualidade dos produtos hortícolas. Como

a manutenção da qualidade comercial é de vital importância não somente resfriar o produto, mas fazê-lo o mais rápido possível após a colheita (Brosnan & Sun, 2001).

Dentre os procedimentos de pós-colheita que podem prolongar a vida de prateleira das frutas e hortaliças, sem resultar em grandes custos ao produtor, destaca-se o pré-resfriamento. Logo após a colheita, o rápido resfriamento, denominado de pré-resfriamento, é particularmente benéfico a produtos altamente perecíveis e essencial na remoção do calor de campo dos produtos recém-colhidos (Wills et al., 1998), mantendo o frescor e aparência da pré-colheita (Becker & Fricke, 2002). Essa técnica reduz rapidamente a transpiração do produto colhido e resulta na manutenção da qualidade do produto a ser comercializado (Brosnan & Sun, 2001). O pré-resfriamento, também chamado de resfriamento rápido, é uma das técnicas de maior custo efetivo e de maior eficiência entre os métodos de preservação de qualidade disponíveis na produção dos cultivos comerciais (Sullivan et al., 1996).

A perda de peso do produto pode ser reduzida, dentre outras maneiras, mantendo-se alta umidade relativa em torno do produto, reduzindo-se a temperatura e a respiração com o pré-resfriamento.

Existem várias técnicas de pré-resfriamento disponíveis para produtos altamente perecíveis, como salas de refrigeração, hidroresfriamento, resfriamento com ar forçado, resfriamento a vácuo e resfriamento por gelo. A escolha do método de resfriamento a ser usado é influenciada pela natureza do produto, requisitos de embalagem, fluxo do produto para venda e restrições econômicas

(Brosnan & Sun, 2001). No Quadro 1 são apresentadas comparações dos métodos de resfriamento.

O pré-resfriamento em câmara é o método mais simples, mas também o mais lento, para resfriar produtos hortícolas. Neste método, os produtos são colocados em câmaras frigoríficas convencionais onde são resfriados pelo contato com ar frio. O processo é lento e pode levar vários dias para remover 87,5% do calor de campo, considerado como valor ideal para o resfriamento. Resfriamento em câmara convencional é lento uma vez que a velocidade do ar é reduzida e o ar não é forçado através dos condutores de forma a garantir um íntimo contato com o produto, como acontece no método de resfriamento por ar forçado. No processo de ar forçado, com o aumento da velocidade do ar e da capacidade de refrigeração o tempo necessário para a mesma refrigeração é apenas 10 a 25% do tempo necessário para o método em câmara (Almeida, 2005).

Quadro 1 - Comparações de métodos de resfriamento.

| | AR FORÇADO | ÁGUA | VÁCUO | GELO | CÂMARA |
|--|-------------------|-------------|--------------|-------------------------------|---------------|
| Tempo de arrefecimento (h) | 1-10 | 0,1-1,0 | 0,3-2,0 | 0,1-0,3 ou mais | 20-100 |
| Perda de água do produto (%) | 0,1-2,0 | 0-0,5 | 2,0-4,0 | 0,5 – 1,0 | 0,1-2,0 |
| Contato de água com produto | Não | Sim | Não | Sim (a menos que em plástico) | Baixo |
| Potencial de contaminação microbiana | Baixo | Elevado | Não | Baixo | Baixo |
| Custo | Baixo | Baixo | Médio | Elevado | Baixo |
| Eficiência energética | Baixo | Elevada | Elevada | Baixa | Baixa |
| Necessidade de embalagem resistente água | Não | Sim | Não | Sim | Não |
| Portabilidade | Por vezes | Raro | Vulgar | Vulgar | Não |
| Utilização em linha | Raro | Sim | Não | Raro | Não |

Fonte: Thompson et al. (2002).

O resfriamento por vácuo se baseia no princípio de que a evaporação da água remove calor do ambiente e a água evapora a temperaturas tanto mais baixas quanto menor for a pressão atmosférica. O resfriamento por esse método é obtido por meio da evaporação da água do produto, resultando em perdas de água que atingem 2 a 5%. É indicado para o resfriamento rápido de hortaliças em que a razão superfície/volume é elevada, como milho verde e alface. O resfriador a vácuo é móvel podendo ser levado próximo ao local de colheita do produto (Figura 1).

O resfriamento pela utilização de gelo obtém-se por transferência do calor do produto para o gelo, ocasionando sua fusão, sendo eficaz na remoção do calor sensível, conferindo aos produtos nas embalagens um aspecto fresco e contribuindo para manter uma humidade relativa elevada, além de reduzir as perdas de água (Almeida, 2005).



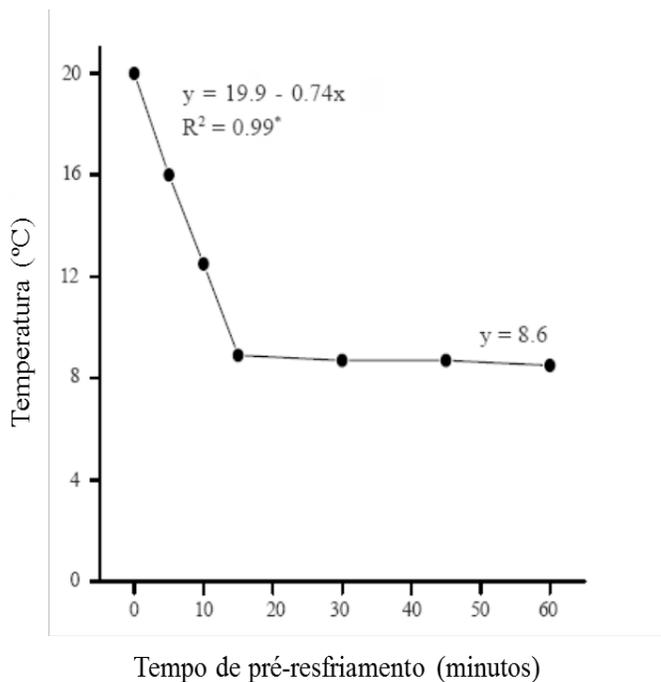
Figura 1 - Resfriador a vácuo móvel utilizado para pré-resfriamento de milho.

Dentre os diferentes métodos utilizados para o resfriamento vegetal, a hidrossefriação com água fria é um dos mais eficientes, devido ao contato direto da água fria com o produto (Álvares et al., 2007), tendo a vantagem da rapidez, pois a água cobre toda a superfície de contato do produto. O hidrossefriação pode ser realizado via imersão, com agitação em água resfriada ou aspersão com água (Becker & Fricke, 2002; Seibert et al., 2007), tornando a técnica relativamente barata se comparada a sistemas de resfriamento com ar forçado ou à vácuo (Gast & Flores, 1991). Outra vantagem desse método é que, não permite que haja perda de umidade durante o pré-resfriamento, pois ao submergir o produto em água fria não ocorre perda de água, o que acontece quando o produto é resfriado com ar frio ou a vácuo (Keys, 1991). Além disso, ajuda na limpeza da hortaliça (Wills et al., 1998).

O uso do gelo na água aumenta ainda mais as vantagens do resfriamento, pois aumenta substancialmente a capacidade frigorífica, fornecendo frio de forma prolongada (Vigneault & Cortez, 2002). O tempo de resfriamento varia proporcionalmente com o volume do produto, sendo as hortaliças geralmente resfriadas por 1,5 a 55 minutos (Teruel et al., 2002).

Folhasas, como alface e cebolinha têm mostrado benefícios pelo pré-resfriamento com água gelada (Gast & Flores, 1991). De igual maneira, o uso da hidrossefriação, por Álvares et al. (2007) trouxe benefícios para a vida de prateleira de folhas de salsa (*Petroselinum crispum*), que tiveram redução na perda de peso fresco e mantiveram um maior teor de água nas folhas durante armazenamento refrigerado. Esses autores também observaram que o hidrossefriação da salsa

por 15 minutos diminuiu a taxa de perda de água e prolongou a vida de prateleira de maços de folhas armazenados a 5°C (Figura 2).



Trabalhos recentes realizados em folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) mostraram que o período de pré-resfriamento para redução da temperatura do produto foi de 5 minutos (Figura 3). Porém esse período em que as folhas permaneceram pré-resfriadas

em água gelada, não influenciou no período de vida pós-colheita da hortaliça.

Figura 2 - Influência do tempo na temperatura de folhas de salsa refrigeradas com água a 5°C e mistura de gelo.

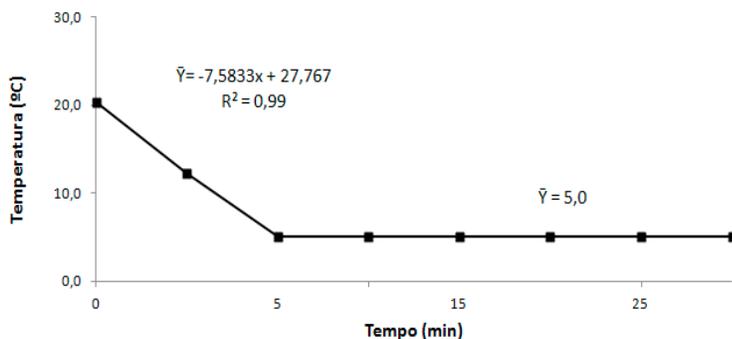


Figura 3 - Temperatura média das folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata Mill.*) em função do tempo de pré-resfriamento. (Fonte: Barbosa, 2012)

Na escolha do tempo de pré-resfriamento, em alface 'Lucy Brown' do tipo repolhuda crespa (Americana), a temperatura interna das cabeças decresceu ao longo do tempo de pré-resfriamento (Tabela 2), apresentando uma redução média de 15 °C na temperatura nos primeiros dez minutos de imersão das cabeças. De acordo com Prance (1994), inicialmente o resfriamento ocorre a maiores taxas, e nos minutos subsequentes, há redução da taxa de decréscimo da temperatura do produto.

Tabela 2- Períodos de pré-resfriamento das cabeças de alface repolhuda crespa 'Lucy Brown' na mistura a 4°C de gelo moído e água (1:3 v/v).

| Tempo de pré-resfriamento (minutos) das cabeças (°C) | Temperatura interna |
|---|----------------------------|
| 0 | 20,0 |
| 5 | 8,7 |
| 10 | 5,0 |
| 15 | 4,8 |
| 20 | 5,0 |
| 30 | 5,8 |
| 40 | 4,8 |
| 50 | 6,0 |

Fonte: França (2011).

As folhas dos tratamentos nesse trabalho, que não foram hidroresfriados se apresentaram visualmente mais murchas que as hidroresfriadas após 48 horas de armazenamento, momento em que as alfaces que não foram pré-resfriadas e armazenadas a temperatura ambiente (T4), foram descartadas (Figura 4). Segundo Finger & Vieira (2007), a taxa de perda de água pelos produtos hortícolas é função da interação entre fatores do meio e interno dos órgãos vegetais, e a taxa de difusão do vapor de água do produto para o ambiente que

é determinada, em parte, pela relação superfície/volume, natureza da superfície protetora e integridade física.

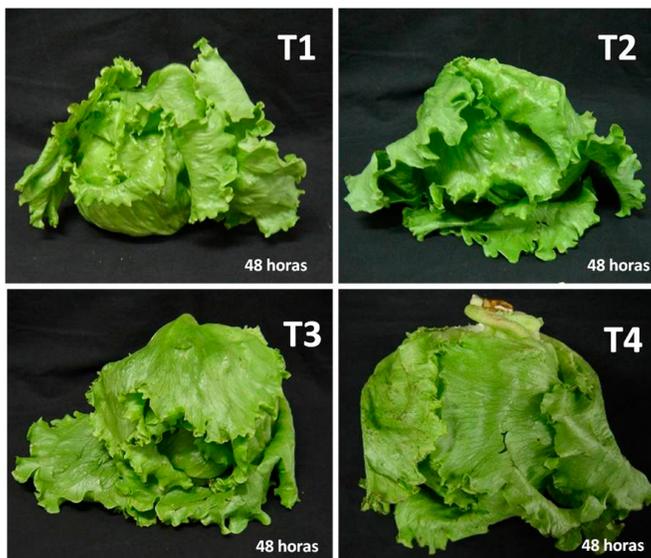


Figura 4 - Aparência de alfaces repolhuda crespa 'Lucy Brown' submetidas ao hidroresfriamento e armazenadas a 5°C (T1), sem hidroresfriamento armazenadas a 5°C (T2), hidroresfriadas e armazenadas a 22°C (T3) e sem hidroresfriamento e armazenadas a 22°C (T4) no período de 48 horas de armazenamento. (Fonte: França et al., 2015).

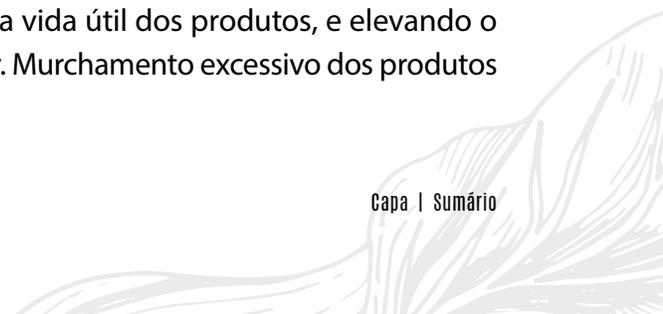
3. REIDRATAÇÃO

Após a colheita, pela ausência de suprimento de água, os produtos hortícolas desidratam, pois a transpiração continua e, o potencial hídrico do ar quente, relativamente seco, é muito menor do

que o potencial dos tecidos da hortalixa (Wills et al., 1998). Embora a água constitua o principal componente da matéria fresca, as hortaliças não toleram grandes perdas de peso sem que demonstrem sinais de murcha e enrugamento (Finger & Vieira, 2007). E mesmo na ausência de murchamento visível, a perda de água pode resultar em redução da crocância, alterações na coloração, palatabilidade e qualidade nutricional de muitos produtos (Wills et al., 1998).

A perda de peso total pós-colheita dos produtos hortícolas é resultado do somatório da perda de água pela transpiração e perda de matéria seca devida à atividade respiratória (Finger & Vieira, 2007). Folhosas por exemplo, são altamente propensas a perder água devido à alta relação superfície/volume, uma vez que a maior parte de frutas e hortaliças apresentam teores de água que variam entre 85 a 95% em massa (Lipton, 1987). Hortaliças folhosas apresentam taxa transpiratória considerada elevada, sendo, portanto, suscetíveis à rápida desidratação após a colheita. Hortaliças, flores e frutos apresentam como sintomas iniciais de perda de água o murchamento e o enrugamento, sendo que a taxa de perda é dependente principalmente da temperatura e da umidade do local de armazenamento (Finger & Vieira, 2007).

Produtos hortícolas frescos são expostos, após a colheita, a diferentes tipos de tensões que são determinantes no controle e redução da perda de água pós-colheita em hortaliças, tais como, a temperatura, umidade e velocidade do ar durante o armazenamento. Condições de armazenamento podem persistir por longos períodos de tempo, reduzindo assim, a vida útil dos produtos, e elevando o custo final para o consumidor. Murchamento excessivo dos produtos



hortícolas é uma das principais causas de má qualidade das verduras folhosas em pequenas lojas de varejo no Brasil (Finger et al., 2008).

Para reduzir a perda de água de frutas e hortaliças durante o armazenamento, vários métodos têm sido utilizados. A refrigeração adequada para cada produto reduz o metabolismo e a perda de água. O uso de embalagens com atmosfera modificada, ou sem, ajudam a manter a umidade relativa no ambiente interno, o que pode ser vantajoso na manutenção do produto. Alterações nas concentrações dos gases respiratórios, com a redução do oxigênio e o aumento do nível de dióxido de carbono pelo uso da atmosfera controlada, podem ampliar a conservação de frutas e hortaliças. Entretanto, a desvantagem nesses sistemas é o alto investimento, que pode não ser recuperado na venda do produto no varejo. Portanto, uma opção barata, que visa aumentar a longevidade, reduzindo a perda de água de frutas e hortaliças, pode ser obtida pela reposição da umidade por hidratação (Shibairo & Upadhyaya, 1998). Produtos hortícolas, a serem reidratados, permanecem por um determinado tempo, submersos em água podendo haver certa reidratação no momento de pré-resfriamento.

Segundo Álvares (2006), folhas de salsinha (*Petroselinum crispum*) com perda de 5 e 10% de massa absorveram durante o tratamento de hidratação aproximadamente 20 a 24% e 20 a 22% de água após 3 horas de hidratação, respectivamente. As folhas com 5% de perda de massa recuperaram mais a turgidez durante a hidratação com água e armazenamento a 5°C. Houve menor recuperação da massa perdida em comparação a hidratação com água a 25°C e armazenamento das folhas a 5°C. Com isso, o autor

concluiu que a hidratação da salsinha em água aumenta a turgidez e longevidade durante o armazenamento. A hidratação das folhas antes do acondicionamento em embalagens PET com ou sem perfuração estendem a vida de prateleira da salsinha. Hidratação periódica dos maços de salsinha por 3 horas com água gelada induziu manchas e queima da folha aos 18 dias de armazenamento a 5°C sem embalagem PET (Figura 5A), porém esses sintomas não foram observados nos maços colocados em embalagens PET (Figura 5B).

Shibairo & Upadhyaya (1998) também observaram este efeito de ganho de massa com o aumento do período de hidratação de cenouras, com o acréscimo de 2,45% da massa em 12 horas de hidratação, o que correspondeu a 83% de recuperação da massa perdida. Onde, as raízes de cenoura foram capazes de repor água perdida via imersão das mesmas em água por períodos variáveis. Consequentemente, houve retardamento da murcha da raiz após o tratamento de imersão durante o armazenamento.

Segundo Cabral et al. (2010), o tratamento dos frutos de pimenta com perda de massa acumulada de 5% por 3, 6 e 9 horas resultou em efetiva recuperação dos frutos, estendendo a vida de prateleira por mais dois a três dias. No entanto, a imersão dos frutos em água após 10% de perda de massa por até 9 horas não recuperou a turgidez dos tecidos. A imersão das pimentas em água promoveu hidratação dos frutos com ganhos de massa proporcionais ao tempo de imersão.

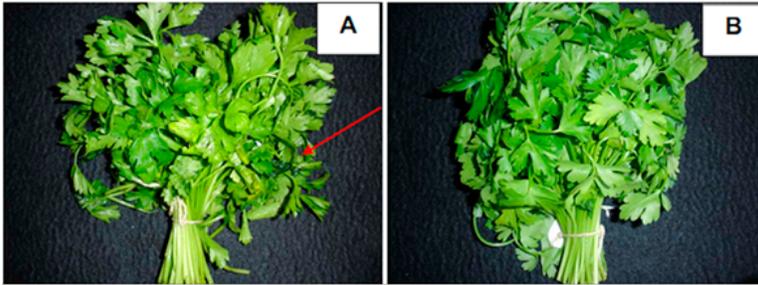


Figura 5 - Aparência das folhas de salsa após 17 hidratações de 3 horas realizadas sempre que as folhas atingissem 10% de perda de peso. A hidratação foi realizada com água gelada e armazenamento sem embalagem (A) e em embalagem PET (B) por 18 dias a 5°C. A seta indica manchas aquosas e queima nas bordas das folhas sem recuperação da turgidez. (Fonte: Álvares, 2006).

No caso de flores de corte, devem ser tomados alguns cuidados especiais para evitar a perda de turgescência das flores. O estresse proporcionado nas flores de corte ocasiona uma tensão no sistema vascular, favorecendo a entrada de ar nas extremidades do corte, fazendo com que ocorra cavitação nos vasos condutores. Segundo Crafts (1968), a ruptura na coluna de água nos vasos xilemáticos das hastes florais, devido à entrada de ar, tem sido considerada como um dos principais fatores que causam o déficit de água. Em crisântemo (*Chrysanthemum* spp.), por exemplo, o ar entra nos vasos xilemáticos no momento do corte e durante o armazenamento a seco e, assim, inibe fortemente a posterior absorção de água (Van Meeteren & Van Gelder, 1999).

As flores de corte são comumente transportadas a seco por período muito longo até atingirem o consumidor, podendo ocasionar

perdas de até 35% (Stringueta et al., 2002). Durante o transporte, as hastes florais são armazenadas a seco, permanecendo com a base expostas ao ar, o que pode provocar o bloqueio e secamento dos vasos condutores, prejudicando a absorção de água pelas hastes e a posterior reidratação. Este fator acarreta um balanço hídrico negativo, visto que a taxa de absorção é menor que a taxa de transpiração. Para recuperar a capacidade de absorção de água há necessidade de recortar a base da haste após o transporte a seco. Para manter uma contínua absorção de água durante a exposição no vaso, há necessidade de renovar a água e realizar corte periódico da base da haste em água, favorecendo a taxa de absorção e evitando a cavitação (Van Doorn, 1997; Bleeksma & Van Doorn, 2003). Assim, a reidratação visa restaurar o balanço hídrico das flores de corte transportadas e armazenadas a seco pelo restabelecimento da turgidez, saturando os tecidos com água ou soluções conservantes (Suzuki et al., 2001).

Em flores de *Zinnia elegans*, o corte periódico da base da haste resulta em acréscimo da vida de vaso devido à maior hidratação (Carneiro et al., 2002). Entretanto, segundo Faragher et al. (2002), a realização periódica do corte nem sempre é prática, além do que, em algumas espécies a realização do corte da base não manteve a qualidade e vida de vaso das flores, conforme foi observado em rosas por Leonard et al. (2001).

De acordo com Santos (2009), após 12 horas de reidratação de inflorescências de *Epidendrum ibaguense* previamente armazenadas a seco por 36 horas, verificou-se que se recortando ou não a base das hastes em diferentes alturas, as inflorescências haviam recuperado, aproximadamente 90 a 100% da turgescência. Porém houve diferentes

taxas de absorção inicial de água, as hastes com corte de 4,0 cm, após 6 horas de reidratação, já haviam recuperado aproximadamente 75% de sua turgidez, enquanto as demais haviam recuperado aproximadamente 50% do peso inicial na colheita. O armazenamento das inflorescências por 36 horas a seco causou a completa murcha das flores, porém houve reidratação completa das flores, independente de ser realizado corte da base da haste antes da reidratação (Figura 6). No entanto, o recorte de 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 cm de altura na base das hastes proporciona aumento na vida de vaso das flores devido a menor queda de flores durante a vida de vaso, quando comparada com a das flores sem corte ou com corte de 0,5 cm de altura.



Figura 6 - Recuperação da turgescência de inflorescências de *Epidendrum ibaguense* submetidas às diferentes alturas de cortes da base após 36 horas de armazenamento a seco. Sem corte (A); corte 0,5 cm (B); corte 1,0 cm (C); corte 2,0 cm (D); corte 3,0 cm (E) e corte 4,0 cm (F). (Fonte: Santos, 2009).

Para a eficiência da metodologia nos produtos vegetais, deve se levar em consideração alguns fatores como a idade cronológica dos tecidos. Produtos hortícolas em estado de senescência mais avançado, segundo Shibairo & Upadhyaya (1998), podem perder a integridade da membrana e a habilidade em absorver água durante a hidratação. A temperatura da água tem grande influência no ganho de massa durante a hidratação dos produtos, o tecido vegetal, o tempo em que os tecidos permanecerão na água para a reidratação e o tempo entre a colheita e a aplicação da metodologia são fatores que influenciam na eficiência da técnica.

4. A CADEIA DO FRIO EM PRODUTOS HORTÍCOLAS

O termo “cadeia do frio” é um conceito bastante conhecido nos países desenvolvidos e consiste basicamente em resfriar o produto desde a colheita e mantê-lo frio até o consumo final. Quando o assunto é a cadeia do frio, deve-se analisar não somente aspectos da refrigeração do produto em si, mas também os aspectos relacionados aos elos da cadeia, como por exemplo, o produtor rural, a tecnologia pós-colheita, o pré-resfriamento do produto, as embalagens adequadas, o transporte frigorificado e a logística de distribuição, etc.

O volume de frutas, flores e hortaliças comercializado no Brasil cresceu consideravelmente e, conseqüentemente, começa a

haver também maior necessidade de utilização da refrigeração, não somente para melhoria da qualidade como também para a redução das perdas. Apesar do aumento no consumo desses produtos, as perdas anuais na pós-colheita têm atingido de 30 a 40% da produção devido à falta de tecnologias adequadas na colheita, embalagem e armazenagem, bem como, à ineficiência dos sistemas de transporte e comercialização (Castro, 2004; Vigneault et al., 2006; Pinto, 2007). Embora seja um grande produtor de frutas e hortaliças, o Brasil perde parte significativa da sua produção.

Quando se fala na utilização da refrigeração para o processo de comercialização dos produtos hortícolas, normalmente se pensa em um aumento nos custos de produção. Talvez seja esta uma das razões pelas quais ela não seja amplamente utilizada. Se a refrigeração fosse associada a uma maior vida de prateleira dos produtos, conseqüentemente menores perdas, e também uma melhor qualidade destes alimentos, com certeza, ela seria mais utilizada. Contudo, nota-se que, a comercialização de frutas, e principalmente hortaliças, no país, é feita sem praticamente nenhum tipo de controle de temperatura. A falta do controle adequado de temperatura pode ser um grave entrave para que o produtor possa oferecer produtos de alta qualidade ao consumidor. Portanto, deverá haver um crescimento expressivo da utilização de refrigeração no país para os próximos anos, sendo um importante passo para a implantação da “cadeia do frio” para alimentos no Brasil.

A ideologia entre produtores, comerciantes e consumidores é proporcionar aos produtos hortícolas condições ótimas de temperatura e de umidade relativa de formas a garantir a sua qualidade

durante o período pós-colheita. Todas as outras tecnologias devem ser encaradas como complementos ao controle da temperatura e da umidade relativa, essas tecnologias suplementares podem aumentar a longevidade pós-colheita em apenas 25 a 40% (Figura 7).

Diante disso, para garantir a qualidade e estender a vida pós-colheita dos produtos hortícolas é necessário o resfriamento rápido para a temperatura mínima de segurança, logo após a colheita, e manter a cadeia de frio durante todo o período pós-colheita. A temperatura ótima para cada produto tem um papel determinante na qualidade dos produtos hortícolas. Um bom manejo da temperatura pode reduzir a atividade metabólica, processos como respiração, a produção de etileno, as alterações de composição, velocidade de senescência e de amadurecimento. Ainda, pode-se reduzir a atividade microbiana, incluindo o desenvolvimento de doenças e a proliferação de patógenos; além de reduzir a perda de água e os fenômenos de crescimento que limitam a vida pós-colheita de órgãos de reserva.



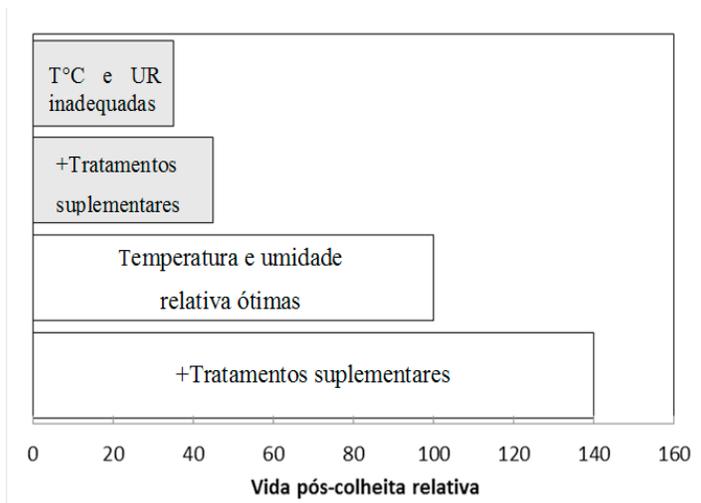


Figura 7 - Efeito do controle da temperatura e da umidade relativa e de tecnologias complementares na longevidade pós-colheita de produtos hortícolas. (Fonte: Adaptado de Kader, 2003).

Armazenamento

O período de armazenamento depende da natureza desse produto, das condições de armazenamento, do circuito de comercialização e das oportunidades de mercado. Em um sistema de manuseio pós-colheita, os produtos são armazenados durante um período variável, que pode ser de algumas horas ou de vários meses.

Após removido o calor de campo, os produtos podem recuperar o calor se não forem armazenados de modo adequado. A fim de usufruir dos benefícios do resfriamento, as frutas e hortaliças

frescas deverão ser armazenadas em condições refrigeradas. O armazenamento em baixa temperatura associado ao controle de umidade prolonga a vida útil dos produtos agrícolas frescos contribuindo com a manutenção de características desejáveis sensoriais e nutricionais, podendo também minimizar o crescimento dos microrganismos (Cenci, 2006).

É comum armazenar os produtos em um curto prazo, este tipo de armazenamento é desenvolvido em câmaras de elevada rotação de produtos, com abertura frequente de portas e, conseqüentemente, possui dificuldade de se manter a temperatura ótima. Nesse tipo de armazenamento ocorre em situações de armazenamento doméstico, e em centrais de compras e distribuição. Já o armazenamento prolongado pode levar vários meses, neste caso é possível estabilizar a temperatura da câmara, é um sistema bem dimensionado e operado para manter a temperatura a níveis ótimos. O armazenamento, mais ou menos prolongado, está incluído em praticamente todas as cadeias de abastecimento de produtos hortícolas. Permitindo equilibrar os volumes colhidos e os volumes vendidos; prolongar o período de comercialização; retardar a venda para obter preços superiores; regularizar os mercados e permitindo uma distribuição mais uniforme (Almeida, 2005).

Um produto deve dispor de uma qualidade inicial que lhe permita uma vida de prateleira compatível ao tempo total para distribuição e consumo. Porém, para os produtos de origem tropical e subtropical, há necessidade de se adotar temperaturas frias, mas que não estimulem o surgimento de sintomas de danos por frio (Ribeiro *et al.*, 2005).

A vida pós-colheita depende da qualidade do produto, temperatura, umidade relativa, composição da atmosfera e de tratamentos adequados ao produto em causa. As condições ótimas de armazenamento para os produtos hortícolas estão disponíveis em diversas publicações (Hardenburg *et al.*, 1986; Gross *et al.*, 2004, Cantwell, 2002).

O armazenamento em baixas temperaturas diminui a produção de etileno em flores de corte ou em vaso, além de reduzir os processos de respiração, transpiração, amadurecimento e senescência dos produtos (Kader, 2002). Nos produtos susceptíveis a danos pelo frio, verifica-se maior taxa de respiração quando expostos a uma temperatura mais baixa que temperatura crítica daquele produto. Na Tabela 3, encontram-se os valores de temperatura mínima para diversos produtos hortícolas. Quando se observa aumento persistente da taxa de respiração após remoção da baixa temperatura indica que houve danos irreversíveis causados pelas baixas temperaturas.



Tabela 3 - Temperaturas mínimas de segurança para armazenamento de alguns frutos e hortaliças susceptíveis a danos causados pelo frio e os respectivos sintomas.

| Produto | Temperatura mínima (°C) | Sintomas |
|----------------|--------------------------------|---|
| Abacate | 4,5-13 | Descoloração da polpa (castanho-cinza), escurecimento da casca |
| Abóbora | 10 | Susceptibilidade a <i>Alternaria</i> |
| Ananás | 7-10 | Verde quando amadurece |
| Anona | 8-10 | Escurecimento da pele, descoloração da polpa, vesículas rosa-pálido junto às sementes, amadurecimento anormal |
| Azeitona | 7 | Acastanhamento interno |
| Banana | 11,5-13 | Cor anormal quando maduras |
| Batata | 3 | Acastanhamento, aumento da doçura |
| Batata-doce | 13 | Pitting, podridões, descoloração interna |
| Berinjela | 7 | Escaldão, escurecimento das sementes, susceptibilidade a <i>Alternaria</i> |
| Espargo | 0-2 | Cor anormal (verde-acinzentado), amolecimento |
| Vagem | 7 | Pitting e manchas acastanhadas |
| Goiaba | 4,5 | Polpa danificada, podridão |
| Laranja | 3 | Pitting, acastanhamento |
| Lima | 7-9 | Pitting, manchas escuras |
| Limão | 11-13 | Pitting, manchas avermelhadas |
| Maçã | 2-3 | Algumas cultivares. Acastanhamento interno, escaldão |
| Manga | 10-13 | Descoloração superficial (acinzentada), amadurecimento anormal |

| | | |
|-----------------------|------|---|
| Melancia | 4,5 | Pitting, aroma desagradável |
| Melão | 7-10 | Descoloração avermelhada, pitting, podridão, amadurecimento anormal |
| Papaia | 7 | Pitting, amadurecimento anormal, aroma atípico, podridões |
| Pepino | 7 | Manchas de aspecto aguado, pitting, podridão |
| Pimenta | 7 | Pitting susceptibilidade a <i>Alternaria</i> , escurecimento das sementes |
| Quiabo | 7 | Descoloração, zonas aspecto aguado, pitting, podridão |
| Romã | 4,5 | Pitting, acastanhamento |
| Tomate (maturo) | 7-10 | Aspecto aguado, podridão, amolecimento |
| Tomate (verde-maduro) | 13 | Susceptibilidade a <i>Alternaria</i> , amadurecimento anormal |

Fonte: Adaptado de Hardenburg *et al.* (1986).

Assim, os objetivos dos sistemas de armazenamento refrigerado são: reduzir a atividade metabólica do produto, através do controle da temperatura e, eventualmente, da composição da atmosfera; reduzir o crescimento e disseminação de microrganismos, através do controle da temperatura e da prevenção da acumulação de água (umidade) na superfície dos produtos; reduzir as perdas de água; reduzir os efeitos negativos do etileno.

Dimensionamento da câmara frigorífica

Toda câmara frigorífica deve ser projetada para receber uma quantidade máxima de produto por dia. O volume de colheita e a capacidade de comercialização podem e devem definir o tamanho ideal da câmara para cada produtor. A carga máxima térmica utilizada pelo equipamento frigorífico deverá ser calculada de forma que possa retirar o calor do produto até o nível desejado, levando em consideração o calor transmitido através das paredes, piso e teto; a infiltração de ar no interior da câmara; o calor dos produtos e embalagens, além da carga térmica transmitida por motores, empilhadeiras, iluminação, aberturas de portas e pessoas.

Para se obter condições satisfatórias de armazenamento, evitando variações de temperatura na câmara, alguns cuidados devem ser observados antes e durante o armazenamento, como por exemplo: resfriar a câmara um dia antes do carregamento; concluir o enchimento da câmara o mais rápido possível; não armazenar com meia carga por longos períodos; manter ventiladores em alta velocidade até a obtenção da temperatura desejada; manter baixa a diferença de temperatura entre o fluido no evaporador; fazer corretamente a estiva, permitindo, que o ar se desloque por entre as caixas de armazenamento no sentido do fundo da câmara; dimensionar corretamente a circulação do ar e a pressão estática nos forçadores de ar do evaporador; restringir ao mínimo o tempo de abertura de portas das câmaras e dispor nas portas cortinas plásticas ou de vento, para evitar a entrada de calor (Brackmann *et al.*, 2012).

O sistema de armazenamento designa-se por frio normal ou frio convencional quando recorre apenas à refrigeração mecânica para resfriar e controlar a temperatura de uma câmara, sem utilização de nenhuma tecnologia adicional para modificar a composição da atmosfera. Um sistema de refrigeração mecânica utiliza um fluido refrigerante que é bombeado através de um circuito por um compressor. O fluido frigorífico absorve calor de uma câmara, através do evaporador, e transfere o calor para o exterior da câmara, através do condensador. Em pós-colheita utilizam-se sistemas de refrigeração mecânica que produzem temperaturas superiores a cerca de -1°C . As bases da refrigeração mecânica encontram-se descritas no manual elaborado por Empis & Martins (2000).

As durações máximas de armazenamento para diferentes produtos hortícolas constam na Tabela 4. Deve-se evitar prolongar excessivamente o tempo de armazenamento, para um determinado potencial proporcionado pela qualidade do produto e pela tecnologia de armazenamento. O armazenamento por um período excessivo em relação ao potencial do lote é uma importante razão para a redução da qualidade dos produtos. Os lotes devem ser segregados de acordo com a avaliação feita do seu potencial de comercialização e removidos da câmara de acordo com esse potencial. Em situações de armazenamento prolongado pode ser útil armazenar separadamente algumas caixas de cada lote de produto e avaliar periodicamente o seu estado. O lote todo deve ser comercializado antes que o produto apresente algum sinal de perda de qualidade.

Tabela 4 - Classificação de frutas e hortaliças quanto à sua perecibilidade relativa e longevidade pós-colheita potencial em condições de armazenamento em atmosfera normal e valores de temperatura e de humidade relativa próximos do ótimo.

| Perecibilidade relativa | Duração potencial de armazenamento (semanas) | Produtos Hortícolas |
|-------------------------|--|---|
| Muito Elevada | 2 | Frutas: Amora, cereja, damasco, figo, framboesa, frutas minimamente processadas, mirtilo, morango. Hortaliças: Alface folhas, brócolis, cebola verde, cogumelos, couve-flor, ervilha, espargo, espinafre, hortaliças minimamente processadas, meloa, milho-doce, rebentos, tomate (maduro). |
| Elevada | 2-4 | Frutas: Abacate, ameixa, banana, goiaba, mandarina, manga, nectarina, papaia, pêssego, uva (sem tratamento com SO ₂) Hortaliças: Aboborinha, aipo, alcachofra, alface de repolho, berinjela, couve-de-bruxelas, couves-repolho, feijão-verde, melões, pepino-doce, pimentão, quiabo, tomate (parcialmente maduro). |
| Moderada | 4-8 | Frutas: Kiwi, laranja, lima, maçã (algumas cultivares), pêra (algumas cultivares), romã, toranja, uva (tratada com SO ₂). Hortaliças: Batata-primor, beterraba-mesa, cenoura, rabanete. |
| Reduzida | 8-16 | Frutas: Limão, maçã, pêra. Hortaliças: Abóboras, alho, batata (conservação), batata-doce, cebola, inhame. |
| Muito reduzida | > 16 | Frutas: Amêndoa, avelã, castanha, noz. |

Fonte: Kader (2002).

Para evitar contaminações com patógenos, as câmaras devem ser lavadas e, se necessário, desinfetadas, no final de cada de cada armazenamento. Caixas ou outros contentores contaminados com fungos devem ser lavados e desinfetados antes de serem reutilizados.

Lutz & Hardenburg (1968) relatam que goiabas destinadas para consumo *in natura* podem ser conservadas entre 7,2-10°C e 90% UR, durante 2 a 3 semanas, contudo, Ribeiro (2005), sugere o armazenamento de goiabas 'Paluma' a 8°C por até 8 dias.

Folhas de taioba cv. Comum e BGH/UFV 5932 mantidas em refrigeração de 5°C tiveram maior conservação do que folhas armazenadas a 10°C, sem sintomas de amarelecimento, até 20 dias de armazenamento (Figura 8).

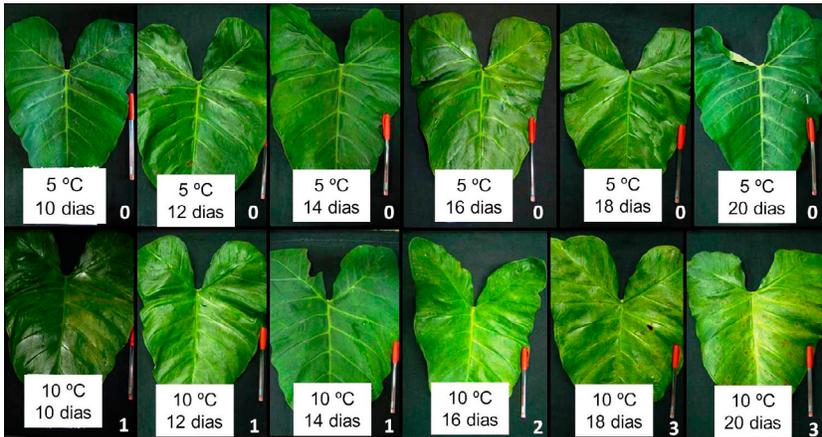
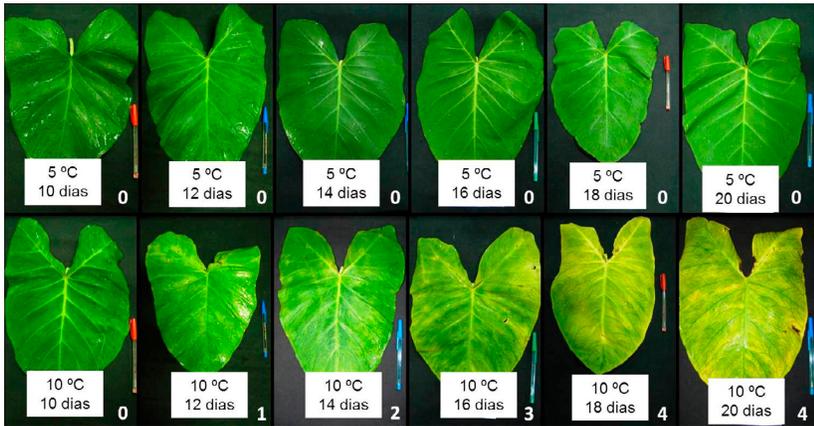


Figura 8. Avaliação visual em folhas de taioba cv. Comum (A) e cv. BGH/UFV 5932 (B), armazenadas a 5°C e 10°C durante 20 dias. 0. sem sinal de amarelecimento; 1. levemente amareladas (25%); 2. moderadamente amareladas (26 a 50%); 3. extremamente amareladas (51 a 75%); 4. completamente amareladas (>76%).(Fonte: Souza, 2012).

Transporte

A cadeia de frio deve ser mantida sem interrupções através das diferentes etapas de comercialização. O transporte é um elemento-chave no fornecimento da maior parte dos produtos atualmente consumidos. Operações de transporte são elos que ligam diferentes etapas da cadeia de abastecimento, deslocando os produtos hortícolas entre elas. Numa cadeia de abastecimento longa e complexa, como nos casos das trocas intercontinentais, existem diversas operações de transporte e de armazenamento que se intercalam e que tem de funcionar em conjunto para que os produtos cheguem ao destino com qualidade (Almeida, 2005). A importância do transporte está em permitir o fluxo de produtos entre o local de produção e o local de consumo, através de diferentes etapas intermediárias, entretanto, os custos de transporte podem representar uma proporção elevada do custo total de abastecimento, especialmente em produtos de baixo valor unitário transportados por longas distâncias.

A operação de transporte tem naturalmente especificidades, mas em certa medida, como nas situações de transporte prolongado a longas distâncias, desempenha as funções do armazenamento. Quando Cavatte (2012) submeteu plantas de pimenta ornamental simulando condições de transporte num período de 48 h a 35°C, as plantas responderam diferentemente aos tratamentos. Na variedade Roxa, praticamente não se observou abscisão foliar, ao passo que as plantas da variedade BGH 1039, na ausência de luz, apresentaram elevada queda foliar, quase 80%, o que inviabiliza sua comercialização (Figura 9).

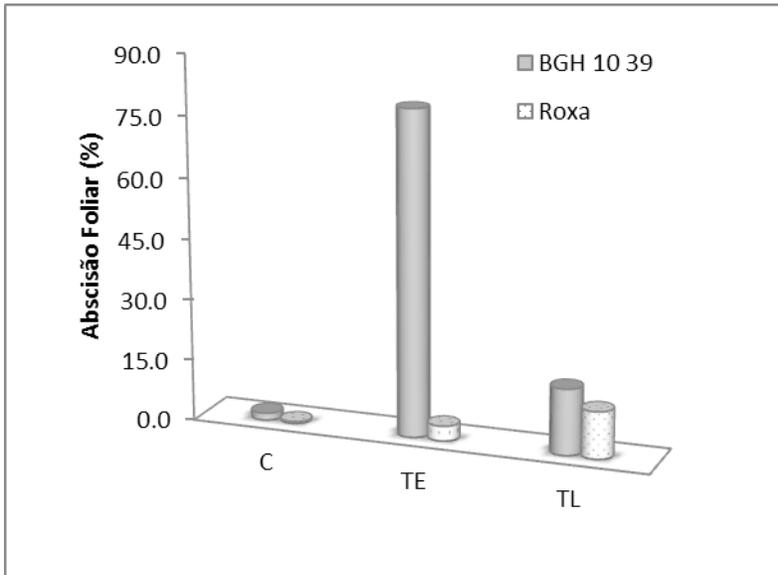


Figura 9 - Plantas de pimenteiros ornamentais submetidas a uma simulação de transporte por 48 h a 35°C. C= controle a 20°C na bancada; TE=Transporte no escuro; TL=Transporte na luz

Os problemas de comprometimento da qualidade mais frequentes durante o transporte são relativos ao deslocamento das cargas e à compressão dos produtos. No entanto, um problema mais sério inerente ao transporte é a falta de controle da temperatura. Outros entraves decorrentes ao transporte são os danos mecânicos e cargas mistas incompatíveis. Em resumo, a falta de refrigeração, o manuseio descuidado ou elevados tempos de espera em condições não refrigeradas nos pontos de carga e de descarga podem comprometer os efeitos de boas condições de transporte.

Sistema de distribuição

O destino final da maioria dos produtos hortícolas constitui em um local onde o consumidor avalia todo o desempenho do processo produtivo e do manuseamento pós-colheita, decidindo aceitar ou rejeitar o produto. É também a única etapa do sistema de manuseamento a que o consumidor tem acesso, pelo que constitui o local ideal para a comunicação com o consumidor. Os produtos são expostos na loja mais em função de estratégias de indução da compra do que da manutenção da qualidade. Um conjunto de condições contribui para uma rápida depreciação da qualidade dos produtos numa loja, dentre os quais podemos destacar: as condições ambientais não são ótimas, devido principalmente à temperatura elevada e reduzida umidade relativa do ar; produtos incompatíveis que são colocados em expositores muito próximos; e à freqüente e severa manipulação dos produtos.

Para minimizar as perdas de qualidade no ponto de venda recomenda-se uma rápida rotação dos produtos nos expositores complementada com outras técnicas como, por exemplo, a exposição de certos produtos sobre gelo e a pulverização periódica de água sobre alguns produtos hortícolas.

Umidade relativa

É imprescindível o controle da umidade relativa (UR), o aquecimento do ar reduz a sua umidade relativa, elevando o gradiente de pressão de vapor entre o produto e o ar circundante. A prevenção da perda de água durante o armazenamento começa com o projeto do sistema de armazenamento e do equipamento de refrigeração das câmaras. Quando se tem valores muito aquém dos requeridos por determinado produto em um ambiente, maior é a taxa de perda de água deste produto, tornando-o inviáveis a comercialização. A remoção de umidade da atmosfera pode ser desejável, como no caso do armazenamento da cebola (70-75%), para a maioria dos produtos, a baixa UR é indesejável devendo ser armazenados com UR acima de 85% até 95%. Por outro lado, uma UR próxima da saturação do ar, poderá ocasionar o desenvolvimento excessivo de microrganismos.

O funcionamento do sistema de refrigeração mecânica remove umidade da atmosfera da câmara, devido à condensação do vapor de água ao nível do evaporador. O fluxo de calor num evaporador (calor absorvido por unidade de tempo) é função da diferença de temperatura entre o fluido frigorífico e o ar da câmara (ΔT) e da área da superfície de troca do evaporador (A); e é traduzida pela equação: $q = UA\Delta T$, em que, q é o calor que é necessário remover a temperatura devido à respiração dos produtos e U é o coeficiente global de transmissão térmica.

Um método eficaz em aumentar a umidade relativa consiste na introdução de água pulverizada ou de vapor de água na corrente

de ar. Com sistemas de umidificação direta pode-se elevar a umidade relativa para valores da ordem de 98%. O arrefecimento com evaporadores molhados é um sistema onde a água é pulverizada sobre a superfície dos tubos do evaporador.

Em uma situação onde o ar úmido resfriado atinge uma temperatura na qual a pressão de vapor será máxima, ocorre assim, uma saturação quando o ar é resfriado sem alteração no seu teor de água, havendo, como consequência, condensação da água. A remoção dos produtos do armazenamento refrigerado deve ser feita adequadamente, evitando mudanças bruscas de temperatura. A umidade do ar não deve condensar na superfície fria do produto, causando sudação, pois pode favorecer o desenvolvimento de doenças no produto.

Atividade metabólica

A baixa temperatura é considerada fator de influência no comportamento e desenvolvimento das espécies vegetais. A aclimação de espécies ao frio é acompanhada por alterações bioquímicas e fisiológicas, que por sua vez, são controladas pela expressão gênica. Os produtos hortícolas frescos são órgãos vivos e devem permanecer como tal durante o período pós-colheita. Além da perda de água, os fatores biológicos envolvidos na deterioração e perdas de quantidade e/ou qualidade, são: 1) a respiração; 2) a produção de etileno; 3) as alterações na composição; 4) o crescimento

e desenvolvimento indesejáveis; 5) a ocorrência de acidentes fisiológicos; 6) a resposta metabólica a danos mecânicos e 7) a patologia pós-colheita. Todos estes aspectos da atividade metabólica devem ser minimizados durante o transporte, armazenamento e exposição final nos pontos de venda.

A temperatura exerce influência direta sobre a taxa de respiração, no qual é responsável por gerar energia necessária para os processos metabólicos do amadurecimento (Manoel, 2008). Segundo Viviani & Leal (2007), observa-se a redução de 2 a 4 vezes na taxa respiratória da banana, a cada decréscimo de 10°C na temperatura. Assim, o controle da temperatura na pós-colheita é essencial para diminuir a deterioração fisiológica.

A temperatura de armazenamento determina a velocidade das reações bioquímicas associadas à senescência. O fator Q_{10} (aumento relativo na velocidade de uma reação química ou processo biológico induzido por um aumento de 10°C na temperatura de armazenamento) pode ser superior a 5 dependendo do material vegetal e da faixa de temperatura considerada (Wills et al., 1998). A respiração destaca-se como o principal fenômeno fisiológico que influencia a conservação e qualidade das frutas, flores e hortaliças, sendo responsável pela fonte de produção de energia requerida para a realização dos processos metabólicos após a colheita.

A intensidade respiratória desses produtos após a colheita, dentro dos limites de tolerância fisiológica, está diretamente relacionada com a temperatura. A baixa temperatura diminui sensivelmente a taxa respiratória de quiabo (Figura 10), além de proporcionar metabolismo mais lento dos produtos hortícolas,

umentando o período de armazenamento (Rocha & Spagnol, 1983 citados por Pinto, 2007). O armazenamento de raízes tuberosas afeta o conteúdo e a composição dos carboidratos, geralmente acompanhados de degradação e interconversão dos carboidratos em consequência da temperatura, composição atmosférica e infecções pós-colheita.

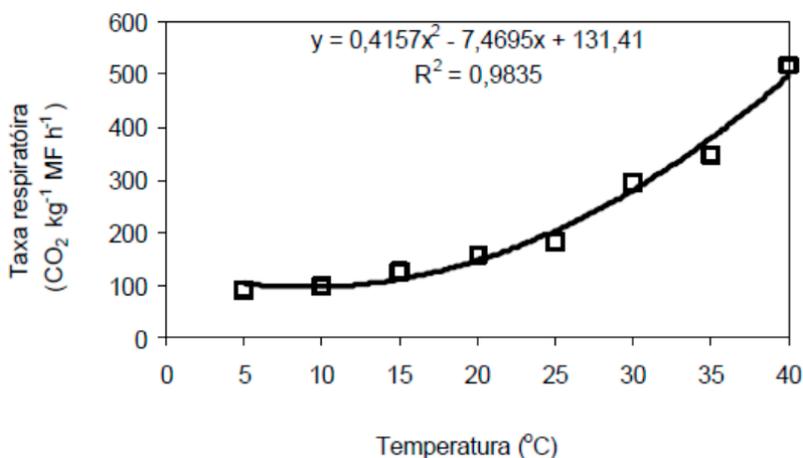


Figura 10 - Taxa respiratória de quiabo armazenado nas temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25, 30,35 e 40 $^{\circ}\text{C}$, analisada após 30 minutos de incubação dos frutos nas respectivas temperaturas. Fonte: Carvalho (2001).

Em cenoura, o armazenamento em baixas temperaturas estimula o acúmulo de hexoses e a redução na concentração de sacarose (Suojala, 2000). Ribeiro et al. (2007) descreve a boa conservação de mandioquinha-salsa embaladas com PVC sob temperatura de 5 e 10 $^{\circ}\text{C}$ por 60 dias. Tubérculos de batata,

armazenados em temperatura inferiores a 10°C, são suscetíveis ao processo de adoçamento, pelo aumento da degradação de amido e acúmulo de sacarose e, principalmente, o aumento dos níveis de glicose e frutose (Blenkinsop et al., 2003).

As propriedades das membranas são afetadas por baixas temperaturas, ocorrendo alteração no fluxo de água e íons, interferindo nas atividades de diversas enzimas (Da Mata & Ramalho, 2006), e ocorrendo, ainda, a produção de oxigênios reativos (ROS). Uma vez que o dano na integridade da membrana é um efeito comum do estresse, especificamente no caso de baixa temperatura, os ROS apresentam importante função na peroxidação de lipídeos e dano da membrana e, conseqüentemente, na senescência da planta (Morsy et al., 2007). O grau e duração de frio podem ser letais a maioria dos organismos, devido à desidratação intracelular pelo ambiente e dano físico ocasionado pela formação de cristais de gelo (Jacobsen et al., 2005). Apesar disso, a resposta para um tipo específico de estresse pode variar com o genótipo, ainda assim, algumas das reações são comuns em todos os genótipos (Morsy et al., 2007).

5. INJÚRIA PELO FRIO

Segundo Nowak & Mynett (1985), a baixa temperatura no armazenamento é importante fator para o retardamento da deterioração, uma vez que diminui os processos metabólicos (transpiração e respiração). Diminui o crescimento de patógenos,

mantendo a qualidade por mais tempo e prolongando a vida pós-colheita de plantas e flores durante o período de armazenamento (Corbineau, 1992). Entretanto, a sensibilidade dos produtos vegetais frescos em geral, ao *chilling* varia em função da temperatura utilizada, espécie, cultivar, parte da planta e tempo de exposição à baixa temperatura durante o armazenamento (Kays, 1991).

Os sintomas das injúrias por frio comumente reportado são o amadurecimento irregular, o incompleto desenvolvimento da cor e do sabor, o aumento da suscetibilidade a doenças, a descoloração da casca e, em muitos casos, o escurecimento do mesocarpo e da polpa (Wang et al., 2008; Pesis et al., 2002). A injúria por resfriamento é considerada o maior obstáculo à expansão do comércio mundial de frutas tropicais (Siriphanich, 2002).

Cada produto tem uma faixa de temperatura crítica de segurança de armazenamento. Por exemplo, a temperatura crítica pode ser da ordem de 2°C no aspargo e em algumas variedades de maçã, ou da ordem dos 13 a 14°C em banana e helicônias. Muitas vezes, não se observa sintomas durante a exposição às baixas temperaturas, os quais se desenvolvem rapidamente à temperatura ambiente, após a remoção dos produtos das condições indutoras (Phakawatmongkol et al., 2004), como em mangas por exemplo.

Na Tabela 5 encontram-se dados para alguns produtos hortícolas sensíveis a danos pelo frio, a temperatura crítica para a maioria das cultivares e os sintomas dos danos.

Geralmente, a injúria por *chilling* ocorre principalmente na membrana celular com as mudanças na composição dos ácidos graxos nos fosfolípídeos (Stanley, 1991). Os danos na membrana iniciam

uma cascata de reações secundárias conduzindo ao rompimento de estruturas celulares, que, com a continuidade do processo de senescência e, conseqüente, enfraquecimento da estrutura celular e tornam o tecido muito susceptível ao processo de deterioração (Watada et al., 1990). Portanto, qualquer rompimento no tecido através de injúrias/danos induz atividades fisiológicas, reações bioquímicas e/ou infecções por patógenos, resultando na rápida deterioração do produto.



Tabela 5 - Temperaturas mínimas de segurança para armazenamento de alguns frutos e hortaliças susceptíveis a danos causados pelo frio e respectivos sintomas.

| Produto | Temperatura mínima (°C) | Sintomas |
|----------------|--------------------------------|---|
| Abacate | 4,5-13 | Descoloração da polpa (castanho-cinza), escurecimento da casca |
| Abóbora | 10 | Susceptibilidade a <i>Alternaria</i> |
| Ananás | 7-10 | Verde quando amadurece |
| Anona | 8-10 | Escurecimento da pele, descoloração da polpa, vesículas rosa-pálido junto às sementes, amadurecimento anormal |
| Azeitona | 7 | Acastanhamento interno |
| Banana | 11,5-13 | Cor anormal quando maduras |
| Batata | 3 | Acastanhamento, aumento da doçura |
| Batata-doce | 13 | Pitting, podridões, descoloração interna |
| Beringela | 7 | Escaldão, escurecimento das sementes, susceptibilidade a <i>Alternaria</i> |
| Espargo | 0-2 | Cor anormal (verde-acinzentado), amolecimento |
| Vagem | 7 | Pitting e manchas acastanhadas |
| Goiaba | 4,5 | Polpa danificada, podridão |
| Laranja | 3 | Pitting, acastanhamento |
| Lima | 7-9 | Pitting, manchas escuras |
| Limão | 11-13 | Pitting, manchas avermelhadas |
| Maçã | 2-3 | Algumas cultivares. Acastanhamento interno, escaldão |

| | | |
|-----------------------|-------|---|
| Manga | 10-13 | Descoloração superficial (acinzentada), amadurecimento anormal |
| Melancia | 4,5 | Pitting, aroma desagradável |
| Melão | 7-10 | Descoloração avermelhada, pitting, podridão, amadurecimento anormal |
| Papaia | 7 | Pitting, amadurecimento anormal, aroma atípico, podridões |
| Pepino | 7 | Manchas de aspecto aguado, pitting, podridão |
| Pimenta | 7 | Pitting susceptibilidade a <i>Alternaria</i> , escurecimento das sementes |
| Quiabo | 7 | Descoloração, zonas aspecto aguado, pitting, podridão |
| Romã | 4,5 | Pitting, acastanhamento |
| Tomate (maturo) | 7-10 | Aspecto aguado, podridão, amolecimento |
| Tomate (verde-maduro) | 13 | Susceptibilidade a <i>Alternaria</i> , amadurecimento anormal |

Fonte: Adaptado de Hardenburg *et al.* (1986).

As injúrias, além de levar a maior perda de água, degradação da membrana e aumento na produção de etileno, provocam a perda na qualidade nutricional (conteúdo de açúcares, ácidos e vitaminas), alterando a cor, o sabor e a textura do produto. As principais manifestações fisiológicas, provenientes da ruptura dos tecidos vegetais são o aumento na velocidade de respiração. Além disso, em determinados frutos, o estímulo à síntese de etileno em resposta

à baixa temperatura ocorre paralelamente ao desenvolvimento dos sintomas de *chilling* e esses eventos têm sido relacionados ao aumento nos precursores da biossíntese do etileno ou a atividade das enzimas implicadas nesse processo (Concellón et al., 2005; Lederman et al., 1997).

Frutos tropicais são sensíveis a baixas temperaturas, desenvolvendo, nestas condições, desordens fisiológicas variáveis com a espécie, que podem comprometer completamente a qualidade dos mesmos (Wang, 1994). Wang (2002) coloca como temperatura segura para a maioria dos frutos tropicais, dentre os quais podemos citar a banana, o maracujá (*Passiflora* sp.), a fruta pão (*Artocarpus altilis*), alguns cultivares de abacate (*Persea americana*) e a manga (*Mangifera indica*), o patamar mínimo de 10°C. Valores inferiores a estes de maneira geral dão origem a injúrias de resfriamento.

Mangas da variedade Palmer armazenadas a 2°C ou 5°C apresentaram injúrias pelo frio após 7 dias, apresentando escurecimento da casca, sem diferenças quanto à intensidade dos danos. Entretanto, não foi observado prejuízo ao desenvolvimento da coloração da polpa e paralisação no amadurecimento dos frutos, indicado pelo retardo no amolecimento e na solubilização dos açúcares. Os frutos armazenados a 12°C não apresentaram danos pelo frio ou prejuízos ao desenvolvimento do amadurecimento (Miguel et al., 2011).

Maçãs suportam temperaturas muito baixas, ao redor de 0°C sem que haja sinais de injúria, entretanto, no caso de bananas a temperatura mínima recomendada é de cerca de 12°C. Frutos tropicais de maneira geral podem sofrer injúrias quando submetidos

a temperaturas baixas, mesmo que estas se situem acima do seu ponto de congelamento.

Segundo Hardenburg et al. (1986) as condições ótimas para a conservação refrigerada de tangerinas são de 4 a 7 °C e 90-95% de UR, com as frutas podendo ser armazenadas nestas condições por 14 a 28 dias. Limas ácidas podem ser armazenadas a 9-10°C, durante 42 a 56 dias, enquanto que, para a laranja, a temperatura recomendada é de 3 a 9 °C, nestas temperaturas as frutas podem ser armazenadas de 21 a 56 dias, dependendo da cultivar e das condições climáticas durante o cultivo. Em geral, as frutas cítricas não suportam longos períodos de temperaturas baixas entre 0 a 5°C.

Segundo Castro & Cortez (2003), verificaram uma mudança de coloração mais rápida nos frutos mantidos a temperaturas mais altas enquanto que aqueles estocados a 13°C foram os que apresentaram amadurecimento gradual ao longo do tempo. Quando armazenados em temperatura ambiente, observaram que em apenas uma semana os frutos já tinham atingido coloração vermelha comprovando a curta vida de prateleira de produtos armazenados a temperaturas mais elevadas. Os tomates armazenados a 7°C apresentaram valores de firmeza que decresceram rapidamente, logo após serem transferidos para a temperatura ambiente. Após 9 dias de experimento, os frutos à temperatura ambiente estavam com amadurecimento mais avançado e, portanto, menos firmes. Portanto, a temperatura à qual tomates são submetidos e o estágio de amadurecimento na colheita influenciam no tempo de conservação dos mesmos.

A berinjela por ser um fruto tipicamente tropical, é muito suscetível à injúria por baixas temperaturas. Assim, temperaturas

inferiores a 8°C, não devem ser utilizadas durante seu armazenamento, principalmente em frutos não embalados. Segundo Hardenburg et al., (1986) a temperatura mínima de segurança para o armazenamento de berinjela é de 7°C, Lyons & Breidenbach (1987) afirmam que por um período aproximado de três a quatro dias em temperatura abaixo de 5°C, são condições favoráveis ao aparecimento de sintomas causado pelo frio.

Em flores, o armazenamento refrigerado a seco ou úmido, tem sido bastante utilizado. No entanto, o armazenamento em baixas temperaturas, em algumas condições pode ser prejudicial, em função de danos fisiológicos que pode causar, principalmente em espécies de origem tropical, subtropical e algumas de origem temperada, que são sensíveis a injúrias por frio.

Flores de origem tropical requerem armazenamento entre 7 e 15°C, pois temperaturas menores podem causar injúrias por frio (*chilling*) apresentando sintomas como a descoloração das flores, lesões necróticas nas pétalas e folhas e atraso na abertura do botão após o armazenamento (Nowak & Rudnicki, 1990). Flores de orquídea *Epidendrum ibaguense* podem apresentar sintomas de injúria por frio durante o armazenamento, em função da temperatura a qual for submetido. Em alpínia, strelitzia e helicônias, a temperatura crítica para o desenvolvimento de injúria por frio é de 10 a 13°C (Finger et al., 2003; Jaroenkit & Paull, 2003). Moraes (2003), trabalhando com flores de *E. ibaguense* armazenadas a 10°C, por 14 dias, não observou sintomas de injúria por frio, mas com 21 dias de armazenamento há surgimento de sintomas de injúria.

Já em rosas, a temperatura possui um grande efeito na respiração, sendo que a taxa de respiração é em torno de três vezes maior a 15°C do que a 5°C e seis vezes mais alta a 25°C (Hardenburg et al., 1986). Os mesmos autores consideram que, de maneira geral, um dia na temperatura de 15°C equivale a três dias de armazenamento a 5°C.

Danos causados pelo gelo constituem outro acidente fisiológico relacionado com as baixas temperaturas que pode ocorrer durante o armazenamento ou transporte. Ao contrário dos danos pelo frio, os danos pelo gelo devem-se à exposição à temperatura abaixo do ponto de congelamento do produto. Lyons & Raison (1970) foram os primeiros pesquisadores a sugerir que, quando plantas sensíveis ao frio, expostas à temperatura injuriante, induz-se a transição da fase física das membranas, passando da estrutura líquido-cristalino flexível, para a estrutura gel-sólida.

A formação do gelo provoca uma desidratação dos tecidos e, eventualmente, a ruptura das membranas celulares. Após o descongelamento os tecidos ficam flácidos, com aparência aguada ou translúcida. Os danos pelo gelo tornam os produtos hortícolas inúteis para o mercado em fresco. Os produtos hortícolas diferem na temperatura de congelamento e na susceptibilidade aos danos causados pelo gelo (Tabela 6). Quanto maior for a concentração de solutos nas células, mais negativo é o ponto de congelamento, e menores são os riscos de ocorrência acidental de danos pelo gelo devido a flutuações da temperatura na câmara de armazenamento.

Outro fator de suma importância que envolve temperaturas baixas é o fato de que a refrigeração pode levar ao aumento das concentrações de compostos tóxicos de oxigênio, incluindo a H₂O₂

(Wismer, 2003), em tecidos suscetíveis. De modo geral, as plantas possuem um eficiente sistema composto por antioxidantes e enzimas capazes de prevenir o acúmulo de intermediários tóxicos do metabolismo celular.

Altas concentrações de radicais livres alteram o estado redox celular, resultando na ativação de diversos genes relatados à defesa (Levine et al., 1994). Assim, uma série de enzimas participa na proteção das plantas contra o dano oxidativo. Membros do sistema enzimático antioxidante de defesa incluem a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) peroxidase do ascorbato (APX), peroxidases fenólicas, tais como guaiacol peroxidase (GPX), e o ciclo da ascorbato/glutationa que inclui glutathione redutase (GR). O radical superóxido (O_2^-) é dismutado a H_2O_2 pela enzima SOD, e as enzimas CAT, APX e GPX metabolizam H_2O_2 a H_2O (Kang & Salveit, 2002).



Tabela 6 - Ponto de congelação de alguns produtos hortícolas.

| PRODUTO | PONTO DE CONGELAMENTO (°C) |
|----------------|-----------------------------------|
| Alface | -0,6 a -0,3 |
| Pepino | -0,9 a -0,8 |
| Tomate | -1,0 a -0,7 |
| Cebola | -1,3 a -0,9 |
| Aspargo | -1,4 a -1,1 |
| Batata | -1,8 a -1,7 |
| Laranja | -2,3 a -2,0 |
| Maçã | -2,2 a -1,7 |
| Cereja | -4,3 a -3,8 |
| Uva | -5,3 a -2,9 |

Fonte: Almeida (2005).

A atividade da catalase está associada aos danos pela injúria por frio. Esta enzima nas plantas superiores atua como uma das principais responsáveis pela defesa contra estresse oxidativo causado pela injúria ao frio (Buchanan et al., 2000). Ela promove a formação de oxigênio e água a partir do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Reilly et al., 2001). Segundo Sala (1998), cultivares de tangerinas tolerantes a injúria por frio possuem maior capacidade de quebrar o peróxido de hidrogênio, pela ação da catalase, em relação às cultivares mais sensíveis ao frio. Já que, a atividade da APX, CAT, e GR foram maiores

na casca de tangerina em frutos tolerantes a refrigeração quando armazenados a baixa temperatura do que em frutos suscetíveis (Sala, 1998). Dessa forma, foi sugerido que o acréscimo simultâneo na atividade das enzimas antioxidantes, SOD, CAT, APX e GR seria primordial para promover uma maior tolerância de plantas e frutos ao frio (Foyer et al., 1997; Lacan & Baccou, 1998; Wismer, 2003).

Em manjeriçã, de acordo com Messias et al. (2006), foi detectado aumento acentuado do extravasamento de eletrólitos, nas três cultivares avaliadas, já nos dois primeiros dias de armazenamento. Ficando evidente que todas as cultivares tiveram comportamento similar no frio quanto às mudanças na permeabilidade das membranas. Desta forma, o extravasamento de eletrólitos parece não estar diretamente ligado ao aparecimento dos sintomas visuais de injúria por frio ou de resistência entre as cultivares. Segundo os autores o aparecimento dos primeiros sintomas visuais de escurecimento nas folhas embaladas em PET ocorreu no terceiro dia, enquanto que nas folhas controle isto foi verificado no segundo dia de armazenamento independente da cultivar. Foi constatado também, o aumento na atividade da catalase, este aumento pode estar relacionado com a redução das concentrações de peróxido de hidrogênio, que tem sua produção aumentada sob condições de injúria por frio.

Não existe nenhum método, atualmente, capaz de evitar completamente os danos nos produtos, causados por armazenamento refrigerado. O método básico de controle consiste no armazenamento dos produtos em temperaturas adequadas, ou seja, acima da Temperatura Mínima de Segurança (TMS). Entretanto, esse procedimento pode não ser eficaz para longos períodos de

armazenamento, situação em que os sintomas de injúrias pelo frio também podem manifestar-se (Kluge et al., 2001).

Assim, algumas alternativas vêm sendo testadas com o objetivo de diminuir ou amenizar os danos causados por baixas temperaturas (Lurie, 1998). As variadas técnicas disponíveis atualmente são baseadas em tratamentos de natureza física ou química, ou de sua associação. Portanto, o objetivo é reduzir as lesões, seja através do retardamento no desenvolvimento dos sintomas ou pelo aumento da tolerância do produto ao frio. Dentre as técnicas que vem sendo utilizadas destacam-se os tratamentos térmicos, aplicados antes da refrigeração, na forma de condicionamento, ou durante o armazenamento refrigerado, como aquecimento intermitente.

No condicionamento térmico as frutas são expostas a temperaturas moderadas ou elevadas, por curtos períodos, antes de refrigerá-los. Esse tipo de tratamento tem apresentado capacidade para reduzir os danos causados pelas baixas temperaturas e ainda, tem diminuído a incidência de podridões em frutas cítricas (Gonzalez-Aguilar et al., 1997 e 1998; Rodov et al., 1995 e 2000; Porat et al., 1999). O aquecimento intermitente consiste na suspensão da baixa temperatura de armazenamento, por um ou mais períodos passando os produtos para temperatura alta ou moderada. Esse tratamento deve ser realizado antes dos danos se tornarem irreversíveis, o que varia de acordo com o produto. O emprego de tratamentos térmicos pode ser tanto na forma de imersão dos frutos em água quente, como por meio da exposição dos produtos ao ar aquecido (Fallik, 2004). O aquecimento intermitente em intervalos de 3 a 6 dias dos

frutos durante o armazenamento refrigerado pode reduzir os efeitos adversos da injúria por frio (Kluge et al., 2002).

O tratamento térmico em produtos vegetais pode trazer vários benefícios, entre eles: redução da carga microbiológica, indução da biossíntese de fitoalexinas, redução de sintomas de danos pelo frio (*chilling*) e até retardo da perda da firmeza de polpa em maçãs (Lunardi et al., 2002). Estudos têm atribuído estes benefícios à síntese de proteínas de choque térmico (HSP) em resposta ao estresse promovido pela exposição temporária dos frutos ao calor (Vierling, 1991; Lurie & Sabehat, 1997), outros indicam que este tipo de tratamento estimula a atividade de enzimas antioxidantes, prevenindo a acumulação de radicais livres e danos oxidativos aos tecidos (Sala & Lafuente, 2000; Rivera et al., 2004; Ghasemnezhad et al., 2008). Por outro lado, muitas vezes pode haver desvantagens, segundo (Kluge et al., 2006) em frutas cítricas, pode haver perda de peso, alteração de cor da casca e polpa, aumento da síntese de etileno e, conseqüentemente, aumento da atividade respiratória.

De acordo com Kluge et al. (2006), encontraram em estudos com citrus que a atividade da CAT foi maior no tratamento com aquecimento intermitente em relação ao controle durante todo o período de armazenamento na lima ácida "Tahiti" e a partir dos 45 dias de armazenamento em laranjas e tanger, enquanto que, para o condicionamento térmico (lento ou rápido), não se constatou este tipo de resposta.

Kluge et al. (2007), relataram que o tratamento de frutas cítricas com aquecimento intermitente, de maneira geral, proporcionou as menores incidências de injúrias pelo frio, na lima 'Tahiti' e no tanger

'Murcott', sendo que, nesta última, o aquecimento lento foi igualmente eficaz. A lima ácida 'Tahiti' suportou até 90 dias de armazenamento quando aplicado o tratamento com aquecimento intermitente. Com isso, os autores concluíram que o aquecimento intermitente, utilizado como tratamento no armazenamento sob refrigeração de frutas cítricas, a 1 °C e 90-95% UR, foi eficaz em reduzir as injúrias pelo frio e pode prolongar a conservação da laranja "Valência", sendo também eficiente para o tangor "Murcott" e a lima "Tahiti", sem afetar as características internas destes.

Segundo Sestari (2010), bananas "Nanicão" submetidas à temperatura de 6°C por 5 dias, foram evidenciados sintomas característicos de injúrias de frio, tais como, pontuações necróticas e descoloração da casca. Quando os frutos foram submetidos ao condicionamento durante 10 horas a 37°C, antes do armazenamento refrigerado, não aumentou a tolerância dos frutos ao frio, pois o índice obtido aos 5 dias foi semelhante ao dos frutos controle. Após a exposição desses frutos à temperatura ambiente, por 3 dias, houve intensificação dos sintomas tornando-os mais evidentes. Contrariamente, os tratamentos térmicos por imersão reduziram a sensibilidade dos frutos ao frio, resultando em menor índice de injúrias na casca, mesmo após o reaquecimento dos frutos a 20°C. A imersão de bananas por 2 minutos em água a 53°C manteve os frutos com menor índice de escurecimento da casca por até 15 dias a 6°C quando comparado aos demais tratamentos empregados.

Conforme Promyou et al. (2008), a imersão em água a 42°C por 15 minutos em bananas "Namwa" e "Gros Michel", antes da refrigeração a 4°C, retardou o início do escurecimento da casca

dos frutos por, no máximo, quatro dias. Portanto, fica claro que, no caso da banana, a indução de tolerância ao frio promovida pelo tratamento térmico é temporária, e seus benefícios são restritos há poucos dias após a refrigeração, possivelmente devido a sua alta sensibilidade ao frio.

Deste modo, para cada situação, o tempo e a temperatura de exposição necessária para obtenção de maior tolerância ao frio são variáveis e dependentes da espécie, ate mesmo da cultivar, do estágio de maturação e de condições pré-colheita de cada produto (Lurie, 1998; Fallik, 2004).

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA D. 2005. *Manuseamento de produtos hortofrutícolas*. Porto: Principia, Publicações Universitárias e Científicas. 112p.

ÁLVARES VS. 2006. *Pré-resfriamento, embalagem e hidratação pós-colheita de salsa*. Viçosa: UFV. 161p (Tese doutorado).

ÁLVARES, VS; FINGER, FL; SANTOS, RCA; NEGREIROS, JRS; CASALI, VWD. 2007. Effect of precooling on the postharvest of parsley leaves. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 1: 31-34.

BARBOSA CKR. 2012. Manejo e conservação pós-colheita de *Pereskia aculeata* Mill. Viçosa: UFV. 46p (Tese mestrado).

BLEEKSMAN HC; VAN DOORN WG. 2003. Embolism in rose stems as a result of vascular occlusion by bacteria. *Postharvest Biology and Technology* 29: 335-341.

BRACKMANN A; GIRARD CC; BENDER RG; FILHO ORC. 2012. Armazenamento refrigerado: Maçã pós-colheita. Frutas do . 1-9p. Disponível em: http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/7ArmazenamentoRefrigeradoPoscolheita_000fid292ms02wyiv80z4s473tip1h23.pdf. Acesso em: 16 de fevereiro de 2012.

BUCHANAN BB; GRUISSEM W; JONES RL. 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Rockville: ASPP. 1406p.

CABRAL VOS; VIEIRA LM; BARBOSA JM; FINGER FL. 2010. Relações hídricas e reidratação de frutos de pimenta (*Capsicum* spp.). *Magistra* 22: 83-87.

CANTWELL M. 2002. Summary table of optimal handling conditions for fresh produce. In: KADER AA. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops*. Oakland: University of California-Agriculture and Natural Resources. p. 511-518.

CARNEIRO TF; FINGER FL; SANTOS VR; NEVES LL; BARBOSA JG. 2002. Influência da sacarose e do corte da base da haste na longevidade de inflorescências de *Zinnia elegans*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 1065-1070.

CASTRO LR. 2004. *Análise dos parâmetros relacionados ao resfriamento a ar forçado em embalagens para produtos hortícolas*. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola. 139p (Tese de Doutorado).

CASTRO LR; CORTEZ LAB. 2003. Aplicação da refrigeração na conservação pós-colheita do tomate. In: *Encontro De Energia No Meio Rural*, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100011&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2012.

CAVATTE RPQ. 2012. *Qualidade da 'pós-produção' de pimentas ornamentais (Capsicum annum L.)*. Viçosa: UFV. 120p (Tese de doutorado).

CENCI SA. 2006. Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças na Agricultura familiar. In: NETO FN. (Org.). *Recomendações Básicas para a aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p. 67-80.

CONCELLÓN A; AÑÓN MC; CHAVES AR. 2005. Effect of chilling injury on ethylene production in eggplant fruit. *Food Chemistry* 92: 63-69.

CORBINEAU F. 1992. *El enfriamiento de flores y plantas*. Universidad de Pierre y Marie Curie, Paris y CNRS. Mendon: Francia, p. 62-90.

CRAFTS AS. 1968. Water deficits and physiological processes. In: *Water Deficits and Plant Growth* 2: 85-124.

DAMATTA FM; RAMALHO JDC. 2006. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18: 55-81.

EMPIS J; MARTINS MM. 2000. *Produtos hortofrutícolas frescos ou minimamente processados - Refrigeração*. Porto: Sociedade Portuguesa de Inovação.

FALLIK E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology* 32: 125-134.

FARAGHER J; STALER T; JOYCE D; WILLIAMSON V. 2002. *Postharvest handling of Australian flowers – from Australian native plants and related species: a practical workbook*. Victoria: RIRDC. 215p.

FINGER FL; ÁLVARES VS; SILVA JR; CALESTINE C; CASALI VWD. 2008. Influence of postharvest water replacement on shelf life of parsley leaves. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 6: 16-118.

FINGER, FL, ENDRES, L, MOSQUIM, PR; PUIATTI, M. 1999. Physiological changes during postharvest senescence of broccoli. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34: 1565-1569.

FINGER FL; MORAES PJ; BARBOSA JG; GROSSI JAS. 2003. Vase life of bird-of-paradise flowers influenced by pulsing and term of cold storage. *Acta Horticulturae* 628: 863-867.

FINGER FL; VIEIRA G. 2007. *Controle da perda pós-colheita de água em produtos hortícolas*. Viçosa: UFV. 29p (Caderno didático 19).

FOYER CH; LOPEZ-DELGADO H; DAT JF; SCOTT IM. 1997. Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. *Physiologia Plantarum* 100: 241-254.

FRANÇA CF; RIBEIRO WS; SILVA FC; COSTA LC; RÊGO ER; FINGER FL. 2015. Hydrocooling on postharvest conservation of butter lettuce. *Horticultura brasileira*, 33(3), 383-387.

GHASEMNEZHAD M; MARSH K; SHILTON R; BABALAR M; WOOLF A. 2008. Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in "Satsuma" mandarins: Antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase. *Postharvest Biology and Technology* 48: 364-371.

GONZALEZ-AGUILAR GA; ZACARIAS L; LAFUENTE MT. 1998. Ripening affects high-temperature-induced polyamines and their changes during cold storage of hybrid Fortune mandarins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 46: 3503-3508.

GONZALEZ-AGUILAR GA; ZACARIAS L; MULAS M; LAFUENTE MT. 1997. Temperature and duration of water dips influence chilling injury, decay and polyamine content in 'Fortune' mandarins. *Postharvest Biology and Technology* 12: 61-69.

GROSS KC; WANG CY; SALTVEIT M. 2004. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. U.S.: Department of Agriculture, Agricultural 66p.

HARDENBURG RE; WATADA AE; WANG CY. 1986. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. Agriculture Handbook N° 66. Davis: U.S. Department of Agriculture. 136p.

JACOBSEN SE; MONTEROS C; CHRISTIANSEN JL; BRAVO LA; CORCUERA LJ; MUJICA A. 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy* 22: 131-139.

JAROENKIT T; PAULL RE. 2003. Postharvest handling of Heliconia, red ginger and bird-of-paradise. *Horttechnology* 13: 259-266.

KADER AA. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. In KADER AA. *Postharvest technology of horticultural crops*. Oakland: University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, p. 39-47.

KADER AA. 2003. A perspective on postharvest horticulture (1978-2003). *HortScience* 38: 1004-1008.

KANG HM; SALVEIT ME. 2002. Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedlings leaves and roots are differently affected by salicylic acid. *Physiologia Plantarum* 115: 571-576.

KAYS EJ. 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. New York: V. N. Reinhold. 532p.

KLUGE RA; AZEVEDO RA; JOMORI MLL; EDAGI FK; JACOMINO AP; GAZIOLA SA; AGUILA JS. 2006. Efeitos de tratamentos térmicos aplicados sobre frutas cítricas armazenadas sob refrigeração. *Ciência Rural* 36: 1388-1396.

KLUGE RA; JOMORI MLL; EDAGI FK; JACOMINO AP; DEL AGUILA JS. 2007. Danos de frio e qualidade de frutas cítricas tratadas termicamente e armazenadas sob refrigeração. *Revista Brasileira de Fruticultura* 29: 233-238.

KLUGE RA; NACHTIGAL JC; FACHINELLO JC; BILHALVA B. 2002. *Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado*. Campinas: Livraria e Editora Rural. 214p.

KLUGE RA; SCARPARE FILHO JA; JACOMINO AP; PEIXOTO CP. 2001. *Distúrbios fisiológicos em frutos*. Piracicaba: FEALQ. 58p.

LACAN D; BACCOU JC. 1998. High levels of antioxidant enzymes correlate with delayed senescence in nonnetted muskmelon fruits. *Planta* 204: 377-382.

LEDERMAN IE; ZAUBERMAN G; WEKSLER A; ROT I; FUCKS Y. 1997. Ethylene forming capacity during cold storage and chilling injury development in "Keitt" mango fruit. *Postharvest Biology and Technology* 10: 107-112.

LEONARD RT; NELL TA; SUZUKI A; BARRETT JE; CLARK DG. 2001. Evaluation of long term transport of Colombian grown cut roses. *Acta Horticulturae* 543: 293-297.

LEVINE A; TENHAREN R; DIXON R; LAMB C. 1994. *H2O2 from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response*. *Cell* 79: 583-593.

LIPTON, WJ. 1987. *Senescence of leafy vegetables*. *HortScience* 22: 854-859.

LUNARDI R; SEIBERT E; BENDER RJ. 2002. *Tolerância da maçã 'Fuji' ao tratamento térmico por imersão em água quente*. *Ciência Agrotécnica* 26: 798-803.

LURIE S. 1998. *Postharvest heat treatments*. *Postharvest Biology and Technology* 14: 257-269.

LURIE S; SABEHAT A. 1997. *Prestorage temperature manipulations to reduce chilling injury in tomatoes*. *Postharvest Biology and Technology* 11: 57-62.

LUTZ JM; HARDENBURG RE. 1968. *The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks*. 66p.

LYONS JM; RAISON JK. 1970. Oxidative activity of mitochondria isolated from plant tissues sensitive and resistant to chilling injury. *Plant Physiology* 45: 386-389.

LYONS JM; BREIDENBACH RW. 1987. Chilling injury. In: WEICHMANN J. (Ed.). *Postharvest physiology of vegetables*. New York: Marcel Debber. p. 305-326.

MANOEL L. 2008. *Qualidade e conservação de banana 'nanica' irradiada, climatizada e refrigerada*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual de São Paulo. Dissertação (Tese de Doutorado). Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0342.pd>. Acesso em: 03 de novembro de 2011.

MESSIAS U; GALVÃO HL; FINGER FL; OLIVEIRA JA; CORRÊA PC. 2006. Resposta pós-colheita do manjeriço à indução da injúria por frio. *Revista Brasileira de Armazenamento* 31: p.103-108.

MIGUEL ACA; DURIGAN JF; MORGADO CMA; GOMES RFO. 2011. Injúria pelo frio na qualidade pós-colheita de mangas cv. Palmer. *Revista Brasileira de Fruticultura Volume Especial*: 255-260.

MORAES PJ. 2003. *Crescimento, caracterização da abertura floral e manejo pós-colheita de flores de Epidendrum ibaguense Kunth*. Viçosa: UFV. 12p (Tese de doutorado).

MORSY MR; JOUVE L; HAUSMAN JF; HOFFMANN L; STEWART JM. 2007. Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two rice (*Oryza sativa* L.) genotypes contrasting in chilling tolerance. *Journal of Plant Physiology* 64: 157-167.

NOWAK J; RUDNICKI RM. 1990. *Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens and potted plant*. Portland: Timber Press. 210p.

NOWAK J; MYNETT K. 1985. The effect of sucrose, silver thiosulphate and 8-hydroxyquinoline citrate on the quality of liliun inflorescences at the bud stage and stored at low temperature. *Scientia Horticulturae* 25: 299-302.

PESIS E; ACKERMAN M; BEN-ARIE R; FEYGENBERG O; FENG X; APELBAUM A; GOREN R; PRUSKY D. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 24: 171-181.

PHAKAWATMONGKOL W; KETSA S; DOORN WG. 2004. Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 32: 115-118.

PINTO LCB. 2007. *Utilização de 1-metilciclopropeno e resfriamento rápido na conservação de pêssegos*. *Engenharia Agrícola* 27: 238-246.

PORAT R; WEISS B; COHEN L; DAUS A; DROBY S. 1999. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. *Postharvest Biology and Technology* 15: 155-163.

PROMYOU P; KETSA S; VAN DOORN W. 2008. Hot water treatments delay cold-induced banana peel blackening. *Postharvest Biology and Technology* 48: 132-138.

REILLY K; HAN YM; TOHME J; BEECHING JR. 2001. Isolation and characterization of cassava catalase expressed during post-harvest physiological deterioration. *Biochimica et Biophysica Acta* 1518: 317-323.

RIBEIRO RA; FINGER FL; PUIATTI M; CASALI VWD. 2005. Chilling injury sensitivity in arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *Tropical Science* 45: 55-57.

RIBEIRO RA; FINGER FL; PUIATTI M; CASALI VWD. 2007. Vida útil e metabolismo de carboidratos em raízes de mandiocinha-salsa sob refrigeração e filme de PVC. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 453-458.

RIBEIRO VGA; JOSTON S; SILVA FF; SIQUEIRA PPX; VILARONGA CLÉSIO PP. 2005. Armazenamento de goiabas 'paluma' sob refrigeração e em condição ambiente, com e sem tratamento com cera de carnaúba. *Revista Brasileira de Fruticultura* 27: 203-206.

RIVERA CF; RODRIGUEZ SZ; DÍAS DE LEÓN SF; BÓSQUEZ ME; DOMÍNGUEZ, SJ; CHÁVEZ FS; CAJUSTES BJ. 2004. Lipid peroxidation and antioxidant enzymes of refrigerated Persian limes (*Citrus latifolia* Tanaka) as influenced by a prestorage hot treatment. *Journal of Food Biochemistry* 28: 305-317.

RODOV V; AGAR T; PERETZ J; NAFUSSI B; KIM JJ; BEN-YEHOSHUA S. 2000. Effect of combined application of heat treatments and plastic packaging on keeping quality of 'Oroblanco' fruit (*Citrus grandis* L. x *C. paradisi* Macf.). *Postharvest Biology and Technology* 20: 287-294.

RODOV V; BEN-YEHOSHUA S; ALBAGLI R; FANG DQ. 1995. Reducing chilling injury and decay of stored citrus fruit by hot water dips. *Postharvest Biology and Technology* 5: 119-127.

SALA JM. 1998. Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits. *Postharvest Biology and Technology* 13: 255-261.

SALA JM; LAFUENTE MT. 2000. Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling. *Postharvest Biology and Technology* 20: 81-89.

SANTOS JS. 2009. *Armazenamento e reidratação de inflorescências de Epidendrum ibaguense Kunth*. Viçosa: UFV. 75p. (Tese de mestrado).

SESTARI I. 2010. *Indução de tolerância de frutos às injúrias de frio: aspectos fisiológicos e bioquímicos*. Piracicaba: ESALQ – USP. 143p. (Tese de doutorado).

SHIBAIRO, SI; UPADHYAYA, MK. 1998. Replacement of postharvest moisture loss by recharging and its effect on subsequent moisture loss during short-term storage of carrots. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123: 141-145.

SIRIPHANICH J. 2002. Postharvest physiology of tropical fruit. *Acta Horticulturae (ISHS)* 575: 623-633.

SOUZA, CS. 2012. *Ação de reguladores de crescimento e temperatura em variedades de taioba*. Viçosa: UFV – 112p (Tese de doutorado).

STANLEY DW. 1991. Biological membrane deterioration and associated quality losses in food tissues. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 30: 487-553.

STRINGUETA ACO; LÍRIO VS; SILVA CAB; REIS BS; AGUIAR DRD. 2002. Diagnóstico do segmento de produção da cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental* 8: 77-90.

SUOJALA T. 2000. Variation in sugar content and composition of carrot storage roots at harvest and during storage. *Scientia Horticulturae* 85: 1-19.

SUZUKI A; LEONARD RT; NELL TA; BARRETT JE; CLARK DG. 2001. Effects of retail hydration on water uptake and quality of 'Madame Delbard' roses after long term transport. *Acta Horticulturae* 543: 251-256.

VAN MEETEREN U; VAN GELDER H. 1999. Effect of time since harvest and handling conditions on rehydration ability of cut chrysanthemum flowers. *Postharvest Biology and Technology* 16: 169-177.

VAN DOORN WG. 1997. Water relations of cut flowers. *Horticultural Reviews* 18:1-85.

VIERLING E. 1991. The role of heat shock proteins in plants. *Annual Review Plant Physiology and Molecular Biology* 42: 579-620.

VIGNEAULT C; GOYETTE B; CASTRO LR. 2006. Maximum slat width for cooling efficiency of horticultural produce in wooden crates. *Postharvest Biology and Technology* 40: 308-313.

VIVIANI L; LEAL PM. 2007. *Qualidade pós-colheita de banana prata anã armazenada sob diferentes condições*. *Revista Brasileira de Fruticultura* 29: 465-470.

WANG B; WANG J; LIANG H; YI J; ZHANG J; LIN L; WU Y; FENG X; CAO J; JIANG W. 2008. Reduced chilling injury in mango fruit by 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and the antioxidant response. *Postharvest Biology and Technology* 48: 172-181.

WANG CY. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29: 986-988.

WANG CY. 2002. Chilling and Freezing Injury In: GROSS KC. *Agriculture Handbook 66* (HB-66). Beltsville, USDA, ARS.

WATADA AE; ABE K; YAMUCHI N. 1990. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technology* 44: 116-122.

WILLS RHH; McGLASSON R; GRAHAM D; JOYCE D. 1998 *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals* 4th ed. Westport. 262p.

WISMER WV. 2003. Low temperature as a causative agent of oxidative stress in postharvest crops. In: HODGES DM. (ed.). *Postharvest oxidative stress in horticultural crops*. New York: Food Product Press. 266p.

CAPÍTULO 8





UTILIZAÇÃO DE ATMOSFERA MODIFICADA E CONTROLADA NA CONSERVAÇÃO DE PRODUTOS HORTÍCOLAS

Fernando Luiz Finger

Tania Pires da Silva

1. INTRODUÇÃO

Produtos hortícolas são organismos vivos, e sua vida útil após a colheita, é limitada por reações bioquímicas de natureza catabólica que culminam com a senescência e finalmente a morte dos tecidos. Ao serem colhidos, inicia nos produtos, acelerado processo de deterioração, porém, a vida de prateleira é determinada pela combinação de fatores internos e externos aos órgãos vegetais. Deste modo, para elevar o período de conservação destes produtos perecíveis há necessidade de se reduzir a velocidade de deterioração pelo manuseio adequado das condições de armazenamento.

Temperatura, umidade relativa e composição da atmosfera de armazenamento, determinam em grande parte o limite máximo de vida útil pós-colheita dos produtos hortícolas. A temperatura é um dos fatores mais importantes que afetam a vida pós-colheita e a qualidade dos produtos hortícolas. Como a manutenção da qualidade

comercial é de vital importância não somente resfriar o produto, mas fazê-lo o mais rápido possível após a colheita (Brosnan & Sun, 2001). Alterações nas concentrações dos gases respiratórios, como a redução do oxigênio e aumento do nível de dióxido de carbono, podem estender a conservação de frutos, flores e hortaliças. Tal procedimento é geralmente usado em conjunto com baixas temperaturas, porém em alguns casos a alteração da composição dos gases na atmosfera de armazenamento, pode em parte substituir a refrigeração.

Os termos atmosfera modificada e controlada são geralmente utilizados para definir modificações na composição dos gases da atmosfera de armazenamento, diferente daquelas existentes no ar normal. Os níveis de oxigênio, dióxido de carbono, nitrogênio, etileno e monóxido de carbono podem ser manipulados de modo a reduzir a taxa de deterioração da maioria dos frutos e hortaliças.

Nesta revisão serão abordados alguns dos princípios fisiológicos básicos do uso da atmosfera modificada e controlada na conservação de produtos hortícolas.

2. CONCEITOS DE ATMOSFERA MODIFICADA E CONTROLADA

Conservação de produtos hortícolas em condições de atmosfera modificada (AM) e controlada (AC) podem ser definidos como o armazenamento realizado sob condições de composição da atmosfera diferente daquela presente na atmosfera do ar normal.

Em ambas situações, há adição ou remoção de gases, porém na atmosfera controlada existe o controle preciso nos níveis dos gases, principalmente do dióxido de carbono (CO_2) e do oxigênio (O_2). Por outro lado, na condição de atmosfera modificada, os níveis dos gases presentes no ar não sofrem controle completo da modificação da concentração destes gases, como por exemplo, no armazenamento de produtos hortícolas envoltos por filmes plásticos não perfurados. No armazenamento em atmosfera modificada os níveis de CO_2 e O_2 presentes, são função da respiração do produto e da permeabilidade do filme plástico aos gases referidos.

Na atmosfera normal o O_2 está presente na concentração de 21%, enquanto que o CO_2 apresenta-se com concentrações de cerca de 0,03%. Tanto no armazenamento em atmosfera modificada como controlada há redução da concentração de O_2 e aumento do CO_2 , porém os limites mínimos toleráveis para a concentração final de O_2 e máximos para o CO_2 são determinados pela fisiologia do produto. Kader & Ke (1994) listaram as concentrações mínimas de O_2 e máximas de CO_2 na atmosfera para o armazenamento de vários produtos hortícolas (Tabelas 1 e 2).

Nozes e frutos secos são altamente tolerantes a baixas tensões de O_2 , podendo tolerar concentrações de cerca de 0,5% sem aparente indução e sintomas de anaerobiose. Por outro lado, frutos cítricos, ervilha, aspargo, batata-doce e batata não toleram reduções na concentração de O_2 abaixo de 5,0% (Tabela 1).

Morangos, cereja, figo, melão-cantaloupe, milho-doce, cogumelo e espinafre são tolerantes a altas concentrações de CO_2 , podendo ser armazenados em atmosferas contendo 15% de CO_2 ,

sem o aparecimento de sintomas de injúrias causadas pelo excesso de CO₂. Maçã (Golden Delicious), pera, uva, tomate, alface, alcachofra e batata-doce são produtos sensíveis a altas concentrações de CO₂, sendo portanto, armazenados com concentração de CO₂ geralmente inferiores a 2% (Tabela 2).

Tabela 1 - Classificação dos produtos hortícolas quanto a tolerância a baixa concentração de O₂. Fonte: Kader & Ke (1994, adaptado).

| Mínimo de O ₂ tolerado (%) | Produto |
|---------------------------------------|---|
| 0,5 | Nozes e frutos secos |
| 1,0 | Algumas cultivares de maçã e pêra, brócolis, alho e cebola |
| 2,0 | Maioria das cultivares de maçã e pera, kiwi, nectarina, pêsego, ameixa, morango, abacaxi, melão cantaloupe, milho-doce, feijão-de-vagem, alface, repolho, couve-flor e couve de bruxelas. |
| 3,0 | Abacate, tomate, pimentão, pepino e alcachofra |
| 5,0 | Frutos cítricos, ervilha, aspargo, batata-doce e batata |

Tabela 2 - Classificação dos produtos hortícolas quanto a tolerância a alta concentração de CO₂. Fonte: Kader & Ke (1994, adaptado).

| Máximo de CO ₂ tolerado (%) | Produto |
|--|---|
| 2 | Maçã (Golden Delicious), pêra, uva, tomate, pimentão, alface, alcachofra e batata-doce |
| 5 | Maioria das cultivares de maçã, pêsego, nectarina, ameixa, laranja, abacate, banana, manga, mamão, kiwi, ervilha, beringela, couve-flor, repolho, couve-de-bruxelas e cenoura |
| 10 | Pomelo, limão, lima, abacaxi, pepino, quiabo, aspargo, brócolis, salsa, aipo, cebola-de-folha, cebola, alho e batata |
| 15 | Morango, cereja, figo, melão cantaloupe, milho-doce, cogumelo e espinafre |

Em uma revisão detalhada sobre os efeitos da AC e AM sobre a conservação de produtos hortícolas, Thompson (1998) avalia que os efeitos benéficos da alteração dos níveis de O₂ e CO₂ para o armazenamento dos produtos, frutos e hortaliças, dependem da espécie e cultivar, da concentração dos gases na atmosfera, da temperatura e do estágio de maturidade do produto, e da concentração de etileno presente na atmosfera de armazenamento.

3. PRINCÍPIOS BIOFÍSICOS

A respiração é considerada como o melhor indicador da atividade metabólica da célula e a redução de sua intensidade promovem diminuição da taxa metabólica como um todo. A aplicação do princípio de ação das massas para a respiração, onde a oxidação completa dos carboidratos produz CO_2 e H_2O , sugere que a elevação do conteúdo de CO_2 e a redução do O_2 do ar atmosférico, podem reduzir a taxa respiratória, com efeitos positivos sobre a extensão da conservação pós-colheita dos produtos hortícolas. Além disso, ocorre diminuição da atividade de enzimas e, portanto, queda da taxa de consumo de substratos de reserva e aumento da vida pós-colheita sem perda de qualidade (Mahajan & Goswami, 2001).

A respiração e outros processos fisiológicos, como a produção de etileno, são diretamente influenciados pelos níveis de CO_2 e O_2 do ar. A maior parte da atividade respiratória está concentrada nos mitocôndrios, onde, o sistema de proteínas citocromo oxidase apresenta alta afinidade pelo O_2 ; contudo, outras enzimas oxidativas da célula como a oxidase do ácido ascórbico e fenolases (polifenol oxidases e peroxidases) apresentam menor afinidade ao O_2 . Conseqüentemente, a redução da tensão de O_2 deve ser tal, que ao se estabelecer o novo equilíbrio dinâmico de difusão de gases entre o ambiente e o tecido, ocorra redução efetiva da atividade destas enzimas oxidativas.

4. EFEITO DO O₂ E CO₂ SOBRE A FISIOLOGIA DE FRUTOS E HORTALIÇAS

Maturação - o maior benefício do uso de atmosfera modificada e controlada é o retardamento do início da maturação dos frutos. A redução da concentração de O₂ abaixo de 8% e o aumento do CO₂, para níveis acima de 1%, retardam o início da maturação de frutos quando armazenados no estágio pré-climatérico. Porém, os níveis mínimos de O₂ e máximos de CO₂ são limitados pela sensibilidade dos tecidos à indução de respiração anaeróbica e pela injúria por CO₂, respectivamente.

O limite mínimo para a concentração de O₂ no ar situa-se próximo a 2%, abaixo desta concentração ocorre estímulo da respiração anaeróbica e produção de aroma e gosto indesejáveis na maioria dos frutos. Além disso, frutos expostos por períodos prolongados ou níveis muito baixos de O₂ podem perder a habilidade de completar a plena maturação após a remoção das condições de anaerobiose parcial. Pêras colhidas no estágio pré-climatérico, e armazenadas a temperatura de 0°C, com atmosfera contendo entre 0,5 e 1,0% de O₂, prolonga o período de conservação por três a cinco meses, sem causar efeitos deletérios ao sabor e ao aroma após a remoção das condições de atmosfera controlada (Claypool, 1973).

Os limites máximos de tolerância a elevados teores de CO₂ variam grandemente entre as espécies de frutos e também entre variedades de um mesmo produto hortícola. A maioria dos frutos, por exemplo, toleram limites máximos próximos a 5% de CO₂ na atmosfera,

embora ocorram exceções como o morango, onde comercialmente utilizam-se concentrações de 20% (Larsen & Watkins, 1995).

Descolorações na casca - são distúrbios causados por oxidações de substratos fenólicos pela ação de fenolases. Estas enzimas apresentam baixa afinidade pelo O_2 , sendo que a atividade é reduzida quando há mudanças moderadas na tensão de O_2 .

Degradação de clorofila - ocorre durante a maturação de frutos e senescência de tecidos foliares e algumas inflorescências como brócolis. A degradação de clorofila é extremamente acelerada com a elevação da concentração de O_2 acima de 21%, porém ocorre retardamento na taxa de degradação pelo aumento na concentração de 0,03 para 15% de CO_2 . É a mudança mais visível que ocorre durante a senescência de hortaliças folhosas e uma vez que a taxa de degradação de clorofila é em função da atividade das clorofilases, peroxidases e marcadamente influenciada por fatores ambientais como luz, temperatura e umidade do ar (Wills et al., 2004).

Degradação de carotenóides - ocorre em taxas muito inferiores que às observadas na degradação de clorofila. Durante o armazenamento prolongado de cenouras a $0,5^\circ C$ há redução da concentração de carotenos, porém a perda pode ser reduzida quando as raízes são armazenadas com teores de O_2 inferiores a 3%.

Firmeza - a perda de firmeza ou amolecimento de frutos ocorre mesmo durante o armazenamento a frio, decorrente da degradação das paredes celulares, hidrólise do amido e perda excessiva de água. A atividade de enzimas como as poligalacturonases ou celulases são responsáveis pela degradação das paredes celulares, tendo as atividades aumentadas com o início da maturação e senescência.

O amaciamento de maçãs é retardado quando os níveis de CO_2 são elevados para 12% e em alguns casos quando há redução de O_2 para 2%.

O armazenamento de frutos de morango, em condições de AM com 20% de CO_2 a 0°C , induz aumento da firmeza após 48 horas do início do tratamento e propicia a manutenção do nível de firmeza após fim da AM, quando comparado com frutos armazenados em ar normal, mostrando o efeito residual das condições de AM sobre a fisiologia do frutos (Larsen & Watkins, 1995).

Aroma - o desenvolvimento de aroma de frutos maduros e senescentes em maçãs é retardado pela presença de 2,5% de O_2 e 5% de CO_2 quando armazenados com temperaturas entre 0 e 2°C , porém ocorre desenvolvimento do aroma de fruto maduro após a retirada das condições de atmosfera controlada durante a comercialização em atmosfera normal. Por outro lado, o armazenamento de maçã, pera e ameixa com 0,25% ou 0,02% de O_2 a temperatura de $0,5$ ou 10°C pelo período 3, 7, 14, 25 ou 35 dias estimulou o desenvolvimento de aroma e gosto indesejáveis proporcional ao logarítmico da concentração de etanol presente nos tecidos (Ke et al., 1991).

A elevação do teor de CO_2 retarda a perda de clorofila, mas efeitos indesejáveis podem ocorrer, como pode ser observado em brócolis armazenado com 5% de O_2 e 15% de CO_2 , onde há desenvolvimento de odores desagradáveis. Efeitos semelhantes são observados em espinafre armazenado em atmosfera com 13% de CO_2 .

Sabores indesejáveis - o desenvolvimento de sabores indesejáveis em cenoura é causado pelo acúmulo de isocumarina e estimulado pela presença de etileno. Armazenamento de

cenouras com nível de O_2 de 1,0% reduz pela metade o acúmulo de isocumarina induzido pela presença de 0,5 ppm de etileno na atmosfera de armazenamento (Lafuente et al. , 1996). Porém, em morangos e framboesas armazenados com atmosfera de 50% de CO_2 e 0,25% de O_2 pelo período de um a sete dias com temperatura de 5°C, ocasiona acúmulo de acetaldeído e etanol nos tecidos com efeitos deletérios no sabor e aroma (Ke et al., 1994).

Quebra de dormência e crescimento - a abertura das flores em brócolis é prevenida com armazenamento a 3°C e 10% de CO_2 . Batatas armazenadas por seis meses em condições de 0,7-1,8% de CO_2 e 2,1-3,9% de O_2 apresentaram menor percentagem de tubérculos brotados comparado com o tratamento de 0,9% de CO_2 e 21% de O_2 (Khanbari & Thompson, 1994).

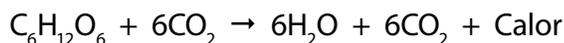
Etileno - baixos níveis de O_2 presentes na atmosfera reduzem tanto a produção como a ação do etileno. A produção de etileno, na maioria dos tecidos vegetais é inibida em 50% quando a concentração de O_2 na atmosfera situa-se entre 5 e 7% (Abeles, et al., 1992). O armazenamento de maçãs maduras em condições de 20% de CO_2 ou 0,25% de O_2 a 20°C causa a imediata inibição da produção autocatalítica de etileno (Sistema II), quando comparado com a produção dos frutos armazenado em ar normal. Esta inibição ocorre pela redução da atividade da ACC sintase e ACC oxidase induzida pela alta concentração de CO_2 e pela insuficiência de O_2 na atmosfera, respectivamente (Gorny & Kader, 1996).

O CO_2 é considerado um inibidor não competitivo da ação do etileno. O tratamento por 24 horas com 60% de CO_2 reduz respiração de frutos de pêsego, tomate e banana pela inibição da ação do

etileno; porém não afeta a respiração em uva e limão, e estimula a respiração em beringela e pepino (Kubo et al., 1990). Armazenamento de tomates, na fase inicial da maturação em atmosfera com 5, 10 e 20% de CO₂ a 20°C reduziram continuamente a produção de etileno, porém após quatro dias, as concentrações de 40 e 60% de CO₂ estimularam a produção de etileno, provavelmente devido a injúria causada pela elevada concentração de CO₂ (Buescher, 1979).

5. PRODUÇÃO DE CALOR PELA RESPIRAÇÃO

Como foi mencionado anteriormente, o armazenamento em atmosfera modificada ou controlada, geralmente é utilizado em conjunto com a refrigeração. Nas condições de atmosfera normal a respiração pode ser representada pela seguinte equação:



Considerando o coeficiente respiratório = 1,0 (volume de CO₂/ volume de O₂) o calor liberado para o ambiente será de 2,58 cal/mg de CO₂.

A equação representada acima não é válida para condições de atmosfera modificada ou controlada, uma vez que ocorre a formação e acúmulo de alguns compostos intermediários, como ácidos orgânicos. Deste modo, a constante de produção de calor de 2,58 cal/mg de CO₂

liberado na respiração, não se aplica nestas condições. Toledo *et al.* (1969) verificaram que o calor produzido na respiração por diversos produtos hortícolas é afetada significativamente pela atmosfera controlada no armazenamento (Tabela 3).

Tabela 3 - Calor da respiração de alguns produtos hortícolas armazenados em atmosfera normal e controlada. Fonte: Toledo et al., (1969).

| Produto | Temperatura (°C) | Atmosfera controlada (%) | | Calor da respiração (BTU/ton/dia) | |
|-----------------|------------------|--------------------------|----------------|-----------------------------------|-------|
| | | CO ₂ | O ₂ | Ar | AC |
| Ervilha | 8,9 | 11 | 1,8 | 22.600 | 6.690 |
| Milho doce | 4,4 | 11 | 1,8 | 11.200 | 3.810 |
| Feijão-de-vagem | 4,4 | 11 | 1,8 | 9.820 | 2.920 |
| Maçã | 1,7 | 11 | 1,8 | 1.900 | 525 |

1BTU = 252 cal

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que houve reduções entre 66 e 73% no calor liberado pela respiração, quando os produtos foram armazenados em condições de atmosfera controlada, reduzindo assim a necessidade de refrigeração.

O armazenamento de maçãs da cv. Red Delicious a 1°C, com simultânea redução na concentração de O₂ de 2% para 1%, promoveu a queda da respiração em aproximadamente 30%, porém quando a concentração de CO₂ foi elevada de 1% para 2%, foi menos efetiva

em reduzir a respiração do frutos (Bohling & Hellickson, 1998). Os dados deste trabalho mostram que em maçã, como em muitos outros produtos hortícolas, a redução na concentração de O_2 é mais efetiva em reduzir a respiração que a elevação na concentração de CO_2 .

Concentrações elevadas de CO_2 reduzem o consumo de O_2 em diversos frutos e hortaliças. Estudos de cinética das trocas gasosas, em brócolis, demonstram que o consumo de O_2 , na presença de altas concentrações de CO_2 , segue o modelo de Michaelis-Menten, havendo inibição competitiva, não competitiva e a combinação das duas formas, para absorção de O_2 . Além disso, as concentrações elevadas de CO_2 na atmosfera podem causar a redução do pH do citoplasma das células, podendo afetar tanto a atividade das enzimas como a concentração de intermediários da glicólise (Peppelenbos & Van't Leven 1996).

6. ATMOSFERA CONTROLADA

A atmosfera controlada convencional foi introduzida comercialmente por volta de 1929, nesta época, a instalação do regime dependia apenas do metabolismo dos órgãos vegetais armazenados. O grande desenvolvimento da atmosfera controlada, na Europa e EUA, se deu no final da década de 1950. Por volta de 1965 tornou-se possível reduzir os níveis de O_2 para 2%, estes valores passaram a se designar por "low oxygen" (LO). Mais tarde, em 1978, as concentrações de O_2 atingiram 1,2% e passaram a ser designadas por "ultra low

oxygen (ULO) (0,7 a 1,5% de O₂). O armazenamento com níveis de O₂ inferiores a 2% exige um sistema de controle da concentração muito mais rigoroso, para impedir a ocorrência de anaerobiose (Almeida, 2005). Atualmente o ULO utiliza a concentração de O₂ de cerca de 1% ou inferiores e de CO₂ entre 0,5 e 1%, frequentemente usada no armazenamento de maçãs e peras. Em relação à atmosfera controlada convencional, o sistema ULO permite uma maior redução da taxa respiratória e o controle de alguns distúrbios fisiológicos relacionados ao armazenamento de maçãs e peras.

Assim, o uso comercial da atmosfera controlada como suplemento da refrigeração prolonga a conservação tanto no armazenamento como transporte de diversos produtos hortícolas. Baseado nas concentrações ideais de O₂ e CO₂ para o armazenamento, Kader (1980) apresentou as condições ótimas de temperatura e atmosfera controlada, bem como o potencial de benefício de vários produtos hortícolas (Tabela 4).

Produtos como maçã, kiwi, pera, morango e banana apresentam maior benefício para armazenamento em atmosfera controlada, havendo retardamento efetivo da maturação e da deterioração pós-colheita. Por outro lado, armazenamento de laranja, manga, mamão, abacaxi e pimentão são pouco beneficiados pela atmosfera controlada.

7. ATMOSFERA MODIFICADA

De acordo com Sigrist *et al.* (2002) a atmosfera modificada refere-se ao armazenamento de frutas e hortaliças em atmosferas cujas concentrações de oxigênio (O_2), gás carbônico (CO_2) e nitrogênio (N_2) são diferentes daquelas encontradas na composição normal do ar ambiente (21% de O_2 , 0,03% de CO_2 e 78% de N_2). A atmosfera modificada pode ser criada através de meios ativos ou passivos. Nos meios passivos, a atmosfera é criada por meio da própria respiração do produto dentro da embalagem, até que se atinja um equilíbrio. No caso de uma modificação ativa, a atmosfera é criada inflando-se o espaço livre da embalagem com uma mistura gasosa pré-determinada, ou ainda por meio de um material, contido em um sachê ou incorporado diretamente à embalagem, capaz de promover alterações na composição gasosa. Em ambos os casos, uma vez que a atmosfera modificada se estabeleça, ela é mantida por um equilíbrio dinâmico entre respiração e permeação (Hotchkiss, 1995; Yam & Lee, 1995).

Os termos atmosfera modificada (AM) e atmosfera controlada (AC) têm sido usados com diferentes significados e alguns incluem nesses conceitos tecnologias como embalagem a vácuo, inertização com nitrogênio, manter o produto em embalagens de plástico, como filmes de PVC e sacos de polietileno (Figura 1). Outra metodologia que proporciona a modificação da atmosfera é o recobrimento dos frutos com ceras ou outros revestimentos, que de alguma maneira irão mudar ou controlar a micro ou macro atmosfera ao redor do

produto fresco. Todos esses métodos reduzem a concentração de O_2 disponível para o produto e aumentam a concentração de CO_2 , diminuindo assim a taxa respiratória e o ritmo de senescência do produto.

A atmosfera modificada é uma técnica eficiente de conservação de alimentos, e sua aplicação na indústria de alimentos tem aumentado muito nos últimos anos, principalmente em países desenvolvidos. Geralmente, são utilizadas embalagens reutilizáveis que permitem lavagem e higienização, o que possibilita eliminar a contaminação e a propagação de problemas fitossanitários entre produtos agrícolas. A função da embalagem é proteger o produto até o momento de seu consumo, assim o cuidado durante o transporte do campo até o ponto final de venda deve ser mantido pelo consumidor no momento da compra e em sua casa (Luengo & Calbo, 2006).





Figura 1 - (A) Bananas embaladas para transporte; (B) Após a abertura da embalagem.

Alterações na concentração dos gases respiratórios podem ampliar a conservação de frutas e hortaliças através da redução da atividade metabólica. No controle respiratório, pois a criação de uma atmosfera modificada gerada na redução dos níveis de O_2 e aumento dos níveis de CO_2 dentro da embalagem desfavorece o processo respiratório. A associação da atmosfera modificada e da refrigeração, com baixa temperatura e alta umidade relativa do ar, assegura a conservação de produtos frescos. Assim, durante o transporte e o armazenamento, é possível reduzir substancialmente a perda de água e conseqüentemente, de massa dos produtos frescos, principalmente de hortaliças folhosas. As atmosferas controladas ou modificadas são utilizadas comercialmente num número relativamente reduzido de produtos hortofrutícolas (Quadro 1), havendo mesmo produtos em que a sua utilização acrescenta pouco ou nada aos ganhos de qualidade que se conseguem apenas com a refrigeração (Tabela 4). Portanto, quando a atmosfera modificada é associada à refrigeração,

há substancial redução no crescimento microbiano e mudanças químicas e fisiológicas podem ser retardadas.

Quadro 1 - Utilização prática da atmosfera controlada ou modificada em frutas e hortaliças frescas. Fonte: (Almeida, (2005), adaptado de Kader, (2003))

| UTILIZAÇÃO PRÁTICA | ARMAZENAMENTO EM ATMOSFERA CONTROLADA | TRANSPORTE EM ATMOSFERA CONTROLADA OU MODIFICADA |
|---------------------------|--|---|
| Muito frequente | Maçã, pêra | - |
| Menos frequente | Kiwi, abacate, frutos secos, meloa, diospiro, espargo, brócolo | Maçã, abacate, banana, mirtilo, cereja, figo, kiwi, manga, nectarina, pêsego, pêra, ameixa, morango e framboesa |

Embalagens com atmosfera modificada ajudam no controle da perda de água; reduzem o manuseio excessivo dos produtos os quais levariam a danos mecânicos; reduzem a taxa de perda de água e o movimento do ar em toda a superfície. Em embalagens perfuradas evita-se a condensação excessiva de vapor d'água na superfície do produto, o que promoveria a proliferação de fungos e bactérias. E ainda, permitem maior troca de gases entre o interior da embalagem e o ambiente sem alterar significativamente as concentrações de CO₂ e O₂ internas (Wills *et al.*, 2004; Finger & Vieira, 2007).

Os filmes plásticos mais utilizados em pós-colheita são o cloreto de polivinil (PVC), polietileno de baixa densidade (PBD) e polietileno de alta densidade (PAD). Estes filmes apresentam diferentes

graus de permeabilidade ao vapor de água e aos gases CO_2 , O_2 e etileno de acordo com a composição e espessura. Plásticos como cloreto de polivinil, polietileno de baixa densidade, poliestireno e polipropileno são mais permeáveis ao CO_2 que o O_2 . Desta forma, a taxa de acúmulo de CO_2 , dentro da embalagem, será menor que a taxa de redução de O_2 pela atividade respiratória do fruto ou hortaliça (Hardenburg, 1971). Armazenamento de maçãs em sacos de polietileno contendo 5 ou 6 frutos promove acúmulo de CO_2 para 5-7% e redução do O_2 para 2-5% em temperaturas 10 e 15°C pelo período de 4 a 5 meses.

Em estudo realizado por Ribeiro *et al.* (2007), com mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) sob armazenamento a 5 e 10°C, o filme plástico de PVC diminuiu a perda de massa das raízes de 58,9 para 8,8%, após 60 dias de armazenamento, enquanto a 10°C a redução da perda de massa foi de 31,9 para 3,5%. Nas raízes de mandioquinha salsa, a perda de firmeza e murcha aparente, ocorreu quando a perda de massa acumulada alcançou valores superiores a 9%. Deste modo, aos 60 dias de armazenamento, somente as raízes armazenadas com filme de PVC a 5 e a 10°C não estavam murchas (Figura 2). Independentemente de as raízes estarem embaladas ou não com filme de PVC a perda de massa, após 60 dias de armazenamento, foi maior a 5 do que a 10°C. Este fato pode estar relacionado à maior incidência de dano por frio a 5°C.

Tabela 4 - Condições de atmosfera controlada e benefícios durante o armazenamento e transporte refrigerado de alguns produtos hortícolas.
Fonte: Kader (1980 adaptado).

| Produto | Temperatura (°C) | Atmosfera controlada | | Potencial de benefício |
|--------------|---------------------|----------------------|------------------|------------------------|
| | | %O ₂ | %CO ₂ | |
| Maçã | 0 – 5 | 2 - 3 | 1 – 2 | Excelente |
| Figo | 0 – 5 | 5 | 15 | Bom |
| Kiwi | 0 – 5 | 2 | 5 | Excelente |
| Nectarina | 0 – 5 | 1 - 2 | 5 | Bom |
| Pêssego | 0 – 5 | 1 - 2 | 5 | Bom |
| Pera | 0 – 5 | 2 - 3 | 0 – 1 | Excelente |
| Morango | 0 – 5 | 10 | 15 – 20 | Excelente |
| Abacate | 5 – 13 | 2 - 5 | 3 – 10 | Bom |
| Banana | 12 – 15 | 2 - 5 | 2 – 5 | Excelente |
| Laranja | 5 – 10 | 10 | 5 | Fraco |
| Manga | 10 – 15 | 5 | 5 | Fraco |
| Mamão | 10 – 15 | 5 | 10 | Fraco |
| Abacaxi | 10 – 15 | 5 | 10 | Fraco |
| Pimentão | 8 – 12 | 3 - 5 | 0 | Fraco |
| Tomate | | | | |
| Verde-maduro | 12 – 20 | 3 - 5 | 0 | Bom |
| Rosa | 8 – 12 | 3 - 5 | 0 | Bom |



Figura 2 - Aparência interna das raízes de mandioquinha salsa 'Carandaí', armazenadas a 5 e 10°C por 60 dias, embaladas ou não com filme de PVC.

Os benefícios do uso do filme plástico em reduzir a perda de massa, alterações na firmeza, produção de etanol e o desenvolvimento de enrugamento pós-colheita, foram documentados em diversos trabalhos com produtos hortícolas, como em milho doce (Aharoni *et al.*, 1996), morango (Çelikel *et al.*, 2003), maçãs (Bohling & Hellickson, 1998) e brócolis (Galvão *et al.*, 2008).

De acordo com Finger *et al.* (2008), em trabalho realizado com quiabos, armazenamento a 10 ou 5°C reduziu a perda de peso tanto em quiabos envoltos com PVC como nos frutos do controle. Dez dias após a colheita a perda de massa estava abaixo de 5% para os frutos armazenados em 10 ou 5°C com PVC, ao passo que as perdas de frescor para os frutos controle já haviam iniciado no terceiro e quinto dia, respectivamente, sem e com PVC. Já a injúria, ocasionada pela baixa temperatura, em frutos controle (sem PVC) foi crescente ao longo dos dias, iniciando logo após o início do armazenamento,

enquanto que para frutos envoltos com PVC, houve início das injúrias somente no sexto dia, após o início do armazenamento.

Em brócolis a aplicação de filme de PVC e o armazenamento a 5°C, observou-se que a embalagem foi eficiente para evitar a perda de massa fresca da inflorescência, chegando aos 21 dias com perda de cerca de 1,01% da massa inicial, enquanto que o controle perdeu cerca de 50% da massa inicial ao final dos 14 dias (Galvão, 2008).

8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA AM E AC DE ACORDO COM ROMOJARO ET AL. (1996):

- Redução da intensidade respiratória;
- Retardamento da senescência, o que permite colher e armazenar frutas com maturação mais próxima da maturação de consumo;
- Limitação da perda de peso e diminuição dos processos de murchamento; com isso proporcionando manutenção da firmeza da polpa do produto;
- Degradação mais lenta dos açúcares, ácidos orgânicos, pigmentos e vitaminas;
- Limitação das alterações fisiológicas, como danos por frio (lanosidade e escurecimento);
- Redução do desenvolvimento de microrganismos, como consequência da ação fungistática e bactericida do CO₂.

Além desses efeitos benéficos derivados da modificação dos níveis de O₂, CO₂ e água no interior da embalagem, existem outros que são devidos ao uso do filme como embalagem AM, que são os seguintes:

- Redução de danos superficiais devido à eliminação do contato entre o produto e o recipiente utilizado para o transporte;

- Melhoria da segurança sanitária, reduzindo os riscos de contaminação dos produtos durante a comercialização e distribuição;
- Facilidade de identificação do produto.

A AC apresenta a vantagem de permitir um controle bastante rigoroso da concentração dos gases, permitindo atingir as concentrações ideais para cada cultivar e, com isso, maximizar o potencial de armazenamento.

9. DESVANTAGENS

- Tanto em AM quanto em AC, a exposição de produtos vegetais frescos a níveis de O_2 e CO_2 fora dos limites de tolerância de cada espécie vegetal, pode induzir a ocorrência de desordens fisiológicas relacionadas como escurecimento interno e manchas marrons na epiderme, coração negro em batata e mancha castanha na alface;
- Maturação anormal em frutas climatéricas como maçãs, peras e bananas;
- Aromas e odores desagradáveis resultantes da respiração anaeróbia;
- Danos por O_2 muito baixo ou CO_2 muito elevado resultam em aumento da susceptibilidade a doenças;
- No caso da batata retarda formação da periderme.

Muitas vezes os mecanismos responsáveis por estes processos podem estar diretamente ligados à indução de determinadas enzimas. Segundo Caron (2009), a mudança drástica da atmosfera no interior das embalagens PEBD resultou em alteração da coloração da polpa (Figura 3) e formação de altos teores de acetaldeído e etanol, em frutos de lima ácida "Thaiti" (*Citrus latifolia* Tanaka) além de alteração do aroma, decréscimo da acidez e maior susceptibilidade a doenças. Estas alterações podem ocorrer quando os níveis de CO₂ forem maiores que 10%. Em frutos cítricos, certos níveis de acetaldeído e etanol são aceitáveis, porém, quando resultam em alterações no sabor e/ou no aroma, depreciam a qualidade dos frutos (Cohen *et al.*, 1990).

Segundo Kluge *et al.* (2001) distúrbios promovidos pelo excesso de CO₂ são caracterizados pelo escurecimento dos tecidos da polpa e pela formação de etanol. Níveis baixos de O₂ resultam em respiração anaeróbica em frutos, com consequente formação de acetaldeído e etanol (Kluge *et al.*, 2001), formação de sabores desagradáveis e redução da produção de ácidos orgânicos pelo ciclo de Krebs. A diminuição da atividade respiratória dos frutos ocorre devido à redução dos compostos piruvato, 2-oxoglutarato e malato no processo de glicólise, além de promover o acúmulo de citrato e succinato (Liu *et al.*, 2004).

Entretanto, apesar dos filmes PEBD também ocasionarem altos teores de CO₂ no interior das embalagens, resultaram em elevados níveis de etileno após o 12º dia de armazenamento. De acordo com Caron (2009) isso pode ser decorrente da alta incidência de podridão nos frutos acondicionados nesta embalagem, após este período de armazenamento. Segundo Kader *et al.* (1989), a espessura do material

da embalagem pode levar ao desenvolvimento de sabores estranhos e/ou fermentação, em consequência da respiração anaeróbica, que leva a um acúmulo de acetaldeído e de etanol, geralmente quando os teores de O_2 ficam abaixo de 2% e os de CO_2 acima de 20%.

No caso da AM, o excesso de umidade relativa que pode se formar no interior da embalagem, como consequência da respiração do produto e a maior ou menor permeabilidade do filme ao vapor d'água, pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos devido à película de água que se forma por condensação no interior da embalagem (Romojaro *et al.*, 1996). No caso da AC, o principal inconveniente é o alto custo para obtenção dos equipamentos necessários para o controle dos gases da câmara frigorífica.

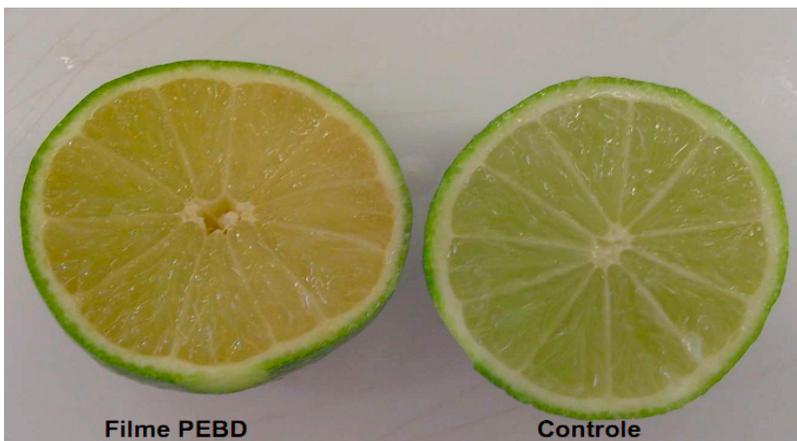


Figura 3 - Alteração da coloração da polpa de limas ácidas acondicionadas em filmes PEBD 65 μm após 24 dias a $10 \pm 1^\circ C$ e $75 \pm 5\%$ de UR mais 6 dias a $20 \pm 1^\circ C$ e $75 \pm 5\%$ de UR. (Fonte: Caron, 2009)

10. USO DE MONÓXIDO DE CARBONO

A adição de monóxido de carbono (CO) em conjunto com a atmosfera controlada, teoricamente pode elevar o potencial de conservação de alguns produtos hortícolas. Segundo Kader (1983) o CO é um gás com ação fungistática que suprime o crescimento de fungos em geral. A eficácia do uso de CO foi comprovada pela redução do ataque de *Botrytis* em morangos, tomates, pêssegos e uva.

Burg & Burg (1967) demonstraram que o CO exerce seu efeito biológico, em tecidos vegetais, ligando-se a metaloproteína receptora do etileno, podendo mimetizar o etileno em todas as suas funções. Concentrações de 0,1% de CO induzem a respiração climatérica, produção de etileno e maturação de bananas e abacates. Kader (1983) sugere que a adição de CO nas concentrações de 10-15% associado a elevados teores de CO₂ e baixos de O₂, melhora a conservação de frutos em geral. Porém, a adição de CO na atmosfera normal pode causar efeitos deletérios sobre a conservação de frutos. Kader *et al.* (1978) verificaram, que o armazenamento de tomates verde-maduros em atmosfera com 5-10% de CO, adicionado ao ar normal, aumentou a respiração, produção de etileno e acelerou a maturação comparado aos frutos armazenados em condições de ar normal.

11. REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

A aplicação direta de revestimentos e coberturas em frutas e vegetais, com o objetivo de aumentar seu período de preservação, embora seja uma tecnologia emergente, não consiste exatamente em uma prática recente. Na China, emulsões derivadas de óleos minerais têm sido empregadas desde o século 13 na conservação de frutos cítricos e em outros produtos que eram transportados por longas distâncias por via marítima. A partir da década de 1950, a cera de carnaúba foi introduzida para esse fim, mas, devido à aparência fosca resultante de sua aplicação, foram misturados com polietileno e parafina. Nos anos de 1960, ceras e vernizes processados a partir de gomas solúveis em água se tornam populares no revestimento de cítricos e frutas em geral segundo Hardenburg (1967). Estas coberturas denominadas “comestíveis” como são conhecidas atualmente são mais recentes, e datam das décadas finais do século passado, quando os produtores tiveram maior interesse por elas devido à expansão da oferta de produtos processados.

Os revestimentos comestíveis são finas camadas, de algum tipo de material, aplicados e formados diretamente na superfície do produto, sendo usados para substituir o revestimento de cera de proteção natural e para reduzir a perda de água de frutas e hortaliças (Gontard & Guilbert, 1996; Krochta & Mulder-Johnston, 1997). Entretanto, não possuem a capacidade de substituir os materiais de embalagem sintética não comestível, mas servem como adjunto para proporcionar maior qualidade, estendendo a vida de prateleira,

possibilitando, desta maneira, economia com materiais de embalagem (Kester & Fennema, 1986).

Estes artifícios funcionam como barreira às trocas gasosas e à perda de água (Figura 4), minimizam a perda de massa, melhoram a aparência e ajudam a conservar a integridade estrutural e as propriedades mecânicas, levando ao aumento da vida útil (Figura 4B e 4C) dos alimentos (Ribeiro *et al.*, 2005). Assim de acordo com Assis & Leoni (2003), os revestimentos comestíveis sobre os alimentos devem apresentar certas peculiaridades como serem invisíveis, terem aderência suficiente para não serem facilmente removidos no manuseio e não introduzirem alterações no gosto dos produtos.



Figura 4 - A. Frutos de mamão com e sem filme após o décimo dia de estocagem. Fonte: Vieira et al., (2009). B. Frutos de tomate com três dias de armazenamento; C. Frutos de tomate após seis dias de armazenamento, à esquerda, frutos com biofilme e à direita, testemunhas (Fonte: Oliveira et al., 2011).

Materiais oriundos do amido, da celulose ou mesmo do colágeno, aplicados diretamente nos alimentos, vem sendo utilizados para este fim, podendo ser consumidos ainda com a película formada no processo. Devido a formação de camadas transparentes e resistentes que agem como barreira à perda de água, proporcionam brilho e bom aspecto à frutas e hortaliças.

A fécula de mandioca é um dos ingredientes que tem sido considerado adequado para a elaboração de coberturas comestíveis (Hojo *et al.*, 2007). O uso de coberturas de fécula de mandioca em concentrações variando de 1 a 5% em morangos foi eficiente na minimização da perda de massa e aumento de cinco vezes na vida útil da fruta (Henrique & Cereda, 1999).

As características requeridas de cada tipo de película comestível dependem, principalmente, das características de cada alimento. Assim, para produtos suscetíveis à oxidação, as películas devem apresentar baixa permeabilidade ao oxigênio (O_2). Frutas e hortaliças frescas necessitam de películas que permitam a transferência moderada de gases para reduzir a respiração e evitar processos fermentativos resultantes da anaerobiose (Azeredo, 2003). Algumas possíveis propriedades funcionais dos filmes como embalagem incluem: retardar a migração de umidade o transporte de gases (O_2 e CO_2), a migração de óleo ou gordura, o transporte de solutos, oferecer uma integridade estrutural adicional aos alimentos. Podem também, reter compostos aromáticos e carregar aditivos alimentícios ou componentes com atividade antibacteriana ou antifúngica (Figura 4A e 5), com liberação controlada sobre o produto onde foi aplicado (Assis *et al.*, 2008).

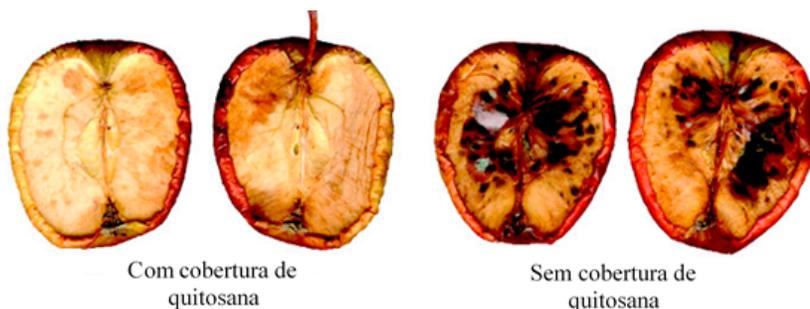


Figura 5 - Aspecto genérico das faces cortadas de maçãs (revestidas e não-revestidas) após o oitavo dia de armazenamento. Fonte: Assis & Leoni (2003).

A hidrólise enzimática dos ácidos pécticos nas paredes celulares tende a reduzir a firmeza do fruto com a consequente perda de fluidos, enquanto que a perda de água decorre do processo de transpiração do fruto, levando à desidratação e à depreciação da qualidade do produto. Este fator favorece o crescimento microbiano, uma vez que a maceração do tecido disponibiliza os nutrientes adequados ao desenvolvimento de microrganismos (Ribeiro *et al.*, 2007). Dessa forma, métodos e tecnologias alternativas que auxiliem na redução da perda de firmeza podem resultar no prolongamento da vida útil do fruto através do controle do desenvolvimento microbiano.

Em minimilhos tratados com diferentes concentrações de fécula de mandioca, e armazenados sob baixa temperatura Queiroz *et al.* (2010), concluíram que houve aumento linear significativo na perda de massa de minimilho durante o armazenamento. No entanto, de um modo geral, o revestimento foi eficiente na

preservação da massa de minimilho no armazenamento refrigerado a 5°C. No final do armazenamento, a acidez e o pH de minimilho não foram influenciados pelo revestimento com cobertura de fécula de mandioca, entretanto, houve redução dos sólidos solúveis totais, independente da concentração da cobertura utilizada.

A utilização de revestimentos superficiais (revestimentos comestíveis) com o objetivo de modificar a atmosfera interna do produto tem sido objeto de investigação. No entanto, a sua aplicação prática com essa finalidade tem sido limitada segundo Almeida (2005), devido a problemas de inconsistência na estabilidade e espessura dos revestimentos e variabilidade nos fatores que afetam a difusão de gases em determinada fruta ou hortaliça.

12. CONCLUSÕES

Os maiores benefícios do uso de atmosfera controlada e modificada são a prevenção do início da maturação e das alterações fisiológicas que ocorrem simultaneamente.

Há efetividade da atmosfera em retardar a maturação quando a concentração de O₂ for reduzida abaixo de 8%, sendo o efeito proporcional à concentração do gás. Níveis de O₂ inferiores a 2% podem causar injúrias aos produtos devido a presença de respiração anaeróbica e consequente desenvolvimento de sabor e aroma indesejáveis.

A elevação da concentração de CO_2 retarda o início da maturação dos frutos, sendo que os níveis máximos de tolerância para a maioria dos produtos é de cerca de 5%. O aumento da concentração de CO_2 geralmente é menos efetiva na prevenção do início da maturação que a redução dos níveis de O_2 .

A sensibilidade dos produtos hortícolas aos altos níveis de CO_2 é função da espécie e das cultivares de uma mesma espécie. As injúrias fisiológicas causadas pelo excesso de CO_2 e baixas concentrações de O_2 , além dos níveis de tolerância permitidos, incluem o desenvolvimento de maturação anormal após a remoção das condições de atmosfera controlada ou modificada.

A efetividade da atmosfera controlada e modificada em prevenir o início da maturação é função da espécie do fruto, da cultivar, do estágio de maturidade na colheita, duração do armazenamento e composição da atmosfera.

A atmosfera controlada ou modificada influenciam a maturação e senescência dos produtos devido aos efeitos sobre a produção e as respostas fisiológicas decorrentes da presença de etileno.

O CO adicionado, em conjunto, com altos níveis de CO_2 e baixas concentrações de O_2 pode prevenir a maturação, porém em condições de ar normal o CO mimetiza o etileno acelerando a maturação dos frutos.

A aplicação de biofilmes potencial de aplicações em produtos frescos conservados por métodos combinados (biofilme e processo de refrigeração), podendo ser utilizados para aumentar a estabilidade

física, química e microbiológica de tais produtos. Além do que, podem favorecer a aceitação dos consumidores pela melhoria da aparência e manutenção de suas propriedades.

13. REFERÊNCIAS

ABELES FB; MORGAN PW; SALTVEIT ME. 1992. *Ethylene in plant biology*. London: Academic Press. 414p.

AHARONI Y; COPEL A; GIL M; FALLIK E. 1996. Polyolefin stretch films maintain the quality of sweet corn during storage and shelf-life. *Postharvest Biology and Technology* 7: 171-176.

ALMEIDA D. 2005. *Manuseamento de produtos hortofrutícolas*. Porto: Principia, Publicações Universitárias e Científicas. 112p.

ASSIS OBG; LEONI AM. 2003. Filmes Comestíveis de Quitosana. *Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento* 30: 33-38.

ASSIS OBG; FORATO LA; BRITTO D. 2008. Revestimentos comestíveis protetores em frutos minimamente processados. *Higiene Alimentar* 22: 99-106.

AZEREDO HMC. 2003. Coberturas comestíveis em frutas conservadas por métodos combinados: potencial da aplicação. *Boletim do CEPPA* 267-278.

BOHLING H; HELICKSON ML. 1998. Physiological responses of red delicious apples during controlled atmosphere storage. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 41: 675-678.

BROSNAN T; SUN DW. 2001. Precooling techniques and applications for horticultural products – a review. *International Journal of Refrigeration* 24: 154-170.

BUESCHER RW. 1979. Influence of carbon dioxide on postharvest ripening and deterioration of tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104: 545-547.

BURG SP; BURG EA. 1967. Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiology* 42: 144-152.

CARON VC. 2009. *Conservação refrigerada de lima ácida 'Tahiti' em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio*. Piracicaba - SP. 99p (Tese mestrado).

COHEN E; BEN-YEHOSHUA S; ROSENBERGUER I; SHALON Y; SHAPIROARO B. 1990. Quality of lemons sealed in high-density polyethylene film during long-term storage at different temperatures with intermittent warming. *Journal of Horticultural Science* 65: 603-610.

ÇELIKEL FG; KAYNAS K; ERENOGLU B. 2003. A study on modified atmosphere storage of strawberry. *Acta Horticulturae* 628: 423-430.

FINGER FL; DELLA-JUSTINA ME; CASALI VWD; PUIATTI M. 2008. Temperature and modified atmosphere affect the quality of okra. *Scientia Agricola* 65: 60-36.

FINGER FL; VIEIRA G. 2007. *Controle da perda pós-colheita de água em produtos hortícolas*. Viçosa: UFV. 29p (Caderno didático 19).

GALVÃO H L; FINGER FL; PUIATTI M; CORRÊA P C; OLIVEIRA LS. 2008. Efeito do pré-resfriamento e do filme de PVC sobre a conservação pós-colheita de brócolis. *Revista Brasileira de Armazenamento* 33: 101-106.

GONTARD N; GUILBERT S. 1996. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. *Boletim SBCTA* 30: 3-15.

GORNY JR; KADER AA. 1996. Regulation of ethylene biosynthesis in climacteric apple fruit by elevated CO₂ and reduced O₂ atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 9: 311-323.

HARDENBURG RE. 1967. Wax and related coatings for horticultural products. A bibliography. *Agricultural Research Bulletin*. 15p.

HARDENBURG RE. 1971. Effect of package environment on keeping quality of fruits and vegetables. *HortScience* 8: 198-201.

HENRIQUE CM; CEREDA MP. 1999. Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria ananassa* Duch) CV IAC. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 19: 231-233.

HOJO ERD; CARDOSO AD; HOJO RH; VILAS BOAS EVB; ALVARENGA MA. 2007. Uso de películas de fécula de mandioca e PVC na conservação pós-colheita de pimentão. *Ciência e Agrotecnologia* 31: 184-190.

HOTCHKISS JH. 1995. Safety considerations in active packaging. In: ROONEY ML. *Active food packaging*. Glasgow: Chapman & Hall. p. 238-255.

KADER AA; CHASTAGNER GA; MORRIS LL; OGAWA JM. 1978. Effects of carbon monoxide on decay, physiological responses, ripening, and composition of tomato fruits. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103: 665-670.

KADER AA. 1980. Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technology* 51-54.

KADER AA. 1983. Physiological and biochemical effects of carbon monoxide added to controlled atmospheres on fruits. *Acta Horticulturae* 138: 221-227.

KADER AA; ZAGORY D; KERBEL EL. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 28: 1-30.

KADER AA; KE D. 1994. Controlled atmospheres. In: PAULL RE; ARMSTRONG JW. ed. *Insect pests and fresh horticultural products: treatments and responses*. Wallingford: CAB International. p. 223-236.

- KADER AA. 2003. A Perspective on Postharvest Horticulture (1978–2003). *Hortscience* 38: 1004-1008.
- KE D; RODRIGUEZ-SINOBAS L; KADER AA. 1991. Physiology and prediction of fruit tolerance to low-oxygen atmospheres. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116: 253-260.
- KE D; ZHOU L; KADER AA. 1994. Mode of oxygen and carbon dioxide action on strawberry ester biosynthesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119: 971-975.
- KESTER JJ; FENNEMA OR. 1986. *Edible films and coatings: a review*. Food Technology 40: 47-59.
- KHANBARI O; THOMPSON AK. 1994. *The effect of controlled atmosphere storage at 4oC on crisp color and on sprout growth, rotting and weight loss of potato tubers*. Potato Research 37: 291-299.
- KLUGE RA; SCARPARE FILHO JA; JACOMINO AP; PEIXOTO CP. 2001. *Distúrbios fisiológicos em frutos*. Piracicaba: FEALQ. 58p.
- KROCHTA JM; MULDER-JOHNSTON C. 1997. *Edible films solve problems*. Food Technology 51: 60-74.
- KUBO Y; INABA A; NAKAMURA R. 1990. Respiration and C₂H₄ production in various harvested crops held in CO₂-enriched atmospheres. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 975-978.
- LAFUENTE MT; LÓPEZ-GÁLVEZ G; CANTWELL M; YANG SF. 1996. Factors influencing ethylene-induced isocoumarin formation and increased respiration in carrots. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121: 537-542.

LARSEN M; WATKINS CB. 1995. Firmness and aroma composition of strawberries following short-term high carbon dioxide treatments. *HortScience* 30: 303-305.

LIU S; YANG HM; TAIRA S; FUKUSHIMA T. 2004. Effects of CO₂ on respiratory metabolism in ripening banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 33: 27-34.

LUENGO RFA; CALBO AG. 2006. Circular Técnica: Embalagens para Comercialização de Hortaliças e Frutas. EMBRAPA: Brasília - DF.

MAHAJAN PV; GOSWANI TK. 2001. Enzyme kinetics based modeling of respiration rate of apple. *Journal of Agricultural Engineering Research* 79: 399-406.

OLIVEIRA TA; LEITE RHL; AROUCHA EMM; FERRREIRA RMA. 2011. Efeito do revestimento de tomate com biofilme na aparência e perda de massa durante o armazenamento. *Revista Verde* 6: 230 – 234.

PEPPELENBOS HW; VAN'T LEVEN J. 1996. Evaluation of four types of inhibition for modelling the influence of carbon dioxide on oxygen consumption of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 7: 27-40.

QUEIROZ VAV; MORAES EA; QUEIRO LR; TARDIN FD; GUEDES EO; PEREIRA FILHO IA; LOMBARDI CT. 2010. Utilização de cobertura comestível na conservação pós-colheita de minimilho minimamente processado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 30: 910-916.

RIBEIRO RA; FINGER FL; PUIATTI M; CASALI VWD. 2007. Vida útil e metabolismo de carboidratos em raízes de mandioquinha salsa sob refrigeração e filme de PVC. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42: 453-458.

RIBEIRO C. 2005. *Estudo de estratégias para a valorização industrial do morango*. Minho: Universidade de Minho. 65p (Tese mestrado).

RIBEIRO C; VICENTE AA; TEIXEIRA A; MIRANDA C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* 44: 63–70.

ROMOJARO F; RIQUELME F; PRETEL MT; MARTÍNEZ G; SERRANO M; MARTÍNEZ, C; LOZANO P; SEGURA P; LUNA PA. 1996. Princípios del a atmosfera modificada. Zapata; Segura: *Nuevas Tecnologías de Conservación de Frutas y Hortalizas*, p. 63-85.

SIGRIST JMM; BLEINROTH EW; MORETTI CL. 2002. Manuseio Pós-colheita de Frutas e Hortalças. In: CORTEZ LAB; HONÓRIO SL; MORETTI CL (ed.). *Resfriamento de frutas e hortaliças*. Brasília: Embrapa Hortalças/Embrapa Informação Tecnológica. p. 81-94.

TOLEDO R; STEINBERG MP; NELSON AI. 1969. Heat of respiration of fresh products as affected by controlled atmosphere. *Journal of Food Science* 34: 261-264.

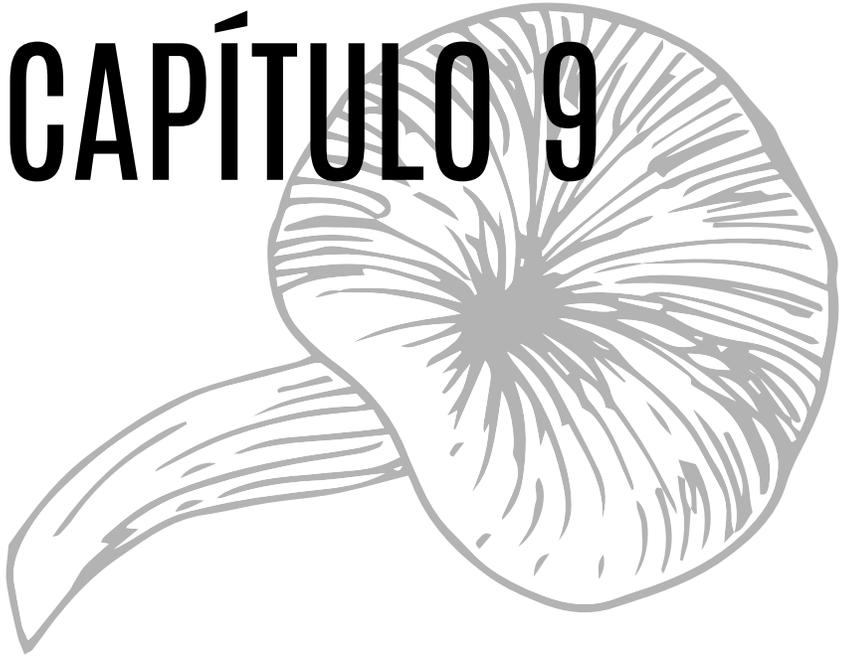
THOMPSON AK. 1998. *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. Wallingford: CAB International. 278p.

VIEIRA MLG; DOTTO GL; ALMEIDA PINTO LA. 2009. Uso de quitosana com diferentes massas moleculares como filmes microbiológicos no recobrimento de mamões-papaia. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Resumos...Uberlândia.

WILLS R; McGLASSON B; GRAHAM D; JOYCE D. 2004. *Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals*. 4. ed. Wallingford: New South Wales University Press. 262p.

YAM KL; LEE DS. 1995. Design of modified atmosphere packaging for fresh produce. In: ROONEY, M.L. *Active food packaging* 55-73.

CAPÍTULO 9





PATOLOGIA PÓS-COLHEITA DE FRUTAS E HORTALIÇAS

André Angelo Medeiros Gomes

Ueder Pedro Lopes

Ana Paula Sato Ferreira

Cristina Soares de Souza

Teresa D. Correia Mendes

Olinto Liparini Pereira

1. INTRODUÇÃO

As frutas e hortaliças, geralmente, são produzidas em áreas distantes dos centros consumidores e necessitam ser transportadas do local de produção para os pontos de distribuição e comercialização. Durante este período, conhecido como pós-colheita, estes produtos estão sujeitos às perdas, que podem ser devido a injúrias mecânicas, desordens fisiológicas ou infecções por microrganismos. As perdas em pós-colheita são relacionadas principalmente a incidência de podridões causadas por microrganismos (Harvey, 1978; Zambolim et al., 2002; Oliveira et al., 2006), sendo que em frutas os fungos são responsáveis pela maior parte das perdas causadas por infecção microbiana. Essas perdas por infecções microbianas, também

conhecidas como doenças em pós-colheita, podem ser influenciadas por diversos fatores, desde aqueles relacionados a produção, como a escolha da cultivar, práticas de manejo da cultura, condições ambientais durante o cultivo; e aqueles relacionados as etapas de pós-colheita, principalmente a temperatura, umidade e concentração de gases durante transporte e armazenamento (Barkai-Golan, 2001).

Em fruteiras tropicais, as perdas em pós-colheita são estimadas de 5 a 50% da produção, podendo alcançar até 100% em condições favoráveis à ocorrência de doenças (Zambolim et al., 2002). Silva et al. (2002) constataram que a incidência de doenças fúngicas foram responsáveis por 98% do descarte de mamão comercializados em supermercados na região Nordeste do Brasil. Em morangueiros oriundos de campos de produção comercial, Lopes (2011) verificou perdas acima de 90% aos cinco dias após a colheita.

Nos meses de verão, devido às altas temperaturas e elevada umidade do ar, observa-se condições favoráveis para o desenvolvimento de fungos e bactérias que infectam os produtos, enquanto que, no inverno as temperaturas mais baixas favorecem uma melhor conservação, retardando ocorrência de patógenos (Vilela et al., 2003). Em análise dos fatores que influenciavam os níveis populacionais de fungos fitopatogênicos em câmaras de frigoconservação de frutas sob condições comerciais, foram constatadas correlações significativas da população fúngica com a temperatura e a oscilação da umidade relativa do ar no interior das câmaras (Michereff et al., 2004). Essa combinação entre temperaturas elevadas e alta umidade é marcante principalmente em países com condições tropicais como o Brasil, o que torna o manejo de doenças em pós-colheita um desafio.

Diminuir as podridões em pós-colheita é de extrema importância para o sucesso da cadeia produtiva de frutas e hortaliças. O conhecimento dos patógenos envolvidos, das condições que os favorecem e das medidas que podem ser implementadas durante as etapas de produção e de pós-colheita são fundamentais para o manejo destas doenças.

Neste capítulo serão abordadas as principais doenças pós-colheita de frutas e hortaliças e discutido diferentes estratégias que podem ser adotadas visando o seu manejo.

2. PODRIDÕES EM PÓS-COLHEITA

Os sintomas das podridões em pós-colheita são variáveis, pois depende das características dos patógenos que causam a infecção e dos produtos que estão sendo infectados. No entanto, pode-se claramente agrupar as diferentes podridões em podridões moles, podridão seca, podridão úmida e podridão azeda.

2.1 PODRIDÃO MOLE

A podridão mole caracteriza-se pela desintegração total do tecido devido à ação de enzimas secretadas pelo patógeno, que

atuam nas substâncias pécticas da lamela média, promovendo a perda de coesão entre as células e levando à formação de um macerado de tecido vegetal. Em embalagens de produtos contendo esse tipo de podridão, observa-se uma massa inconsistente e aquosa. Nestes casos, é comum a ocorrência de novas infecções oriundas do contato dos frutos doentes com os sadios. As podridões moles podem ser de origem fúngica ou bacteriana:

- Nas podridões de origem fúngica, normalmente observa-se crescimento de micélio vigoroso que cobre todo o fruto que é rapidamente desintegrado. Exemplos de patógenos que causam este tipo de podridão são os dos gêneros *Rhizopus*, *Gilbertella* e *Mucor* (Figura 1).
- Nas podridões de origem bacteriana observa-se o amolecimento do tecido, geralmente acompanhado de odor fétido característico. Estas podridões são observadas principalmente em hortaliças e as principais representantes são as bactérias do gênero *Pectobacterium* (Figura 14).



Figura 1 - Extravasamento de conteúdo celular em podridão mole de frutos de morangueiro causado por *Rhizopus stolonifer*.

2.2 PODRIDÃO SECA

O sintoma de podridão seca, inicia-se com uma lesão necrótica associada à perda de água, os tecidos continuam firmes, e os frutos afetados podem se tornarem múmias cobertas por estruturas do patógeno. Fungos como *Monilinia fructicola* e *Colletotrichum* em algumas culturas causam este tipo de podridão (Figura 2).

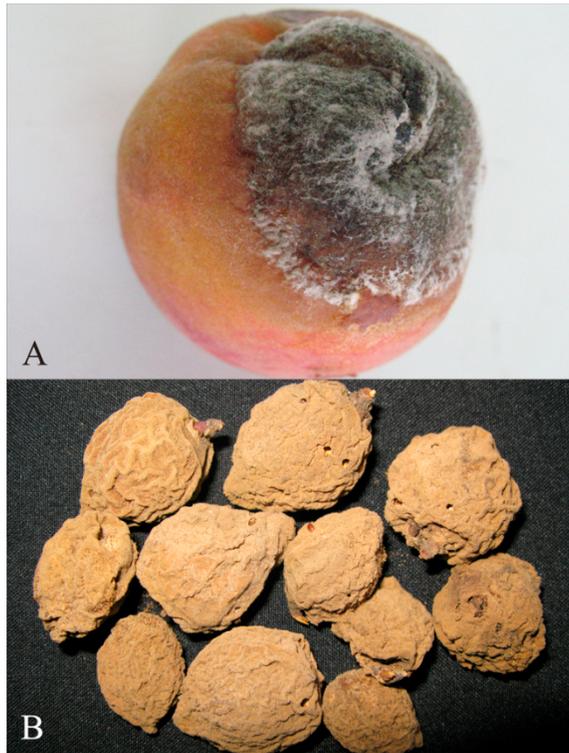


Figura 2 - Podridão seca causada por *Monilinia fructicola* em frutos de pêsego. (A) Sintoma de podridão evidenciando a perda de água, sem, no entanto, ocorrer extravasamento de conteúdo celular. (B) Múmias cobertas por esporulação do patógeno. Essa doença é conhecida como podridão parda na cultura do pessegueiro.

2.3 PODRIDÃO ÚMIDA

Neste tipo de podridão não ocorre desintegração dos tecidos como na podridão mole, porém o órgão atacado perde a consistência natural. Exemplos de patógenos que causam estas podridões são *Botrytis*, *Pestalotia-like*, *Phytophthora* (Figura 3) e *Colletotrichum*.

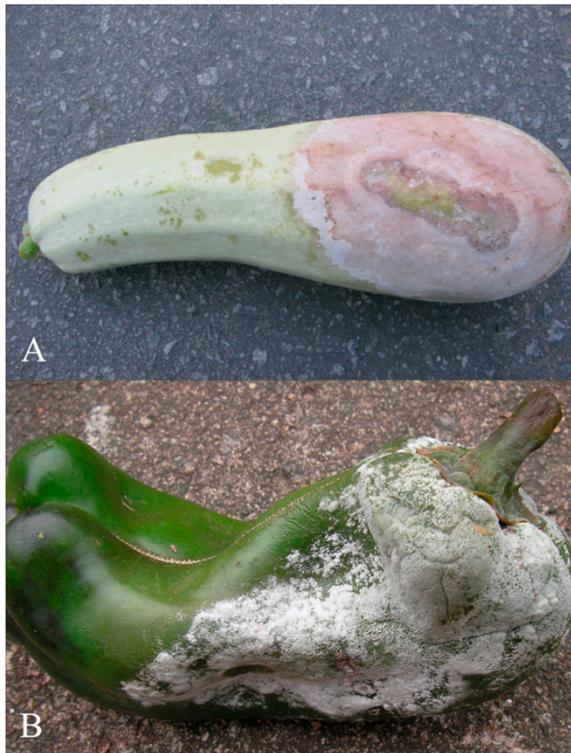


Figura 3 - Podridão úmida causada por *Phytophthora* em abobrinha (A) e pimentão (B).

2.4 PODRIDÃO AZEDA

Na podridão azeda ocorre a desintegração total do tecido devido à ação de enzimas do patógeno lembrando a podridão mole, mas neste caso é acompanhado de odor etílico. Este tipo de podridão é causado especialmente por *Geotrichum candidum* (Figura 4).



Figura 4 - Podridão azeda causada por *Geotrichum candidum* em frutos de morangueiro.

3. INFECÇÃO

O conhecimento do patógeno e a forma de infecção são importantes para propor estratégias de manejo eficientes para as podridões. Em doenças pós-colheita a infecção pode ocorrer a qualquer momento, antes ou depois da colheita.

3.1 INFECÇÃO NO CAMPO (INFECÇÃO QUIESCENTE)

Alguns patógenos podem infectar o produto no campo e os sintomas se manifestarem apenas na pós-colheita. Essas infecções, infecções quiescentes, ocorrem quando o desenvolvimento do patógeno é reprimido. Após o início da infecção, as estruturas do patógeno podem permanecer dormentes por um longo período, até que alterações, inerentes principalmente ao hospedeiro, permitam o seu desenvolvimento. Patógenos em quiescência normalmente tornam-se ativos quando o fruto está amadurecendo (Prusky *et al.*, 2013).

Os patógenos que causam infecções quiescentes geralmente podem infectar outras partes da planta como folha, flor etc. Estes patógenos infectam partes florais e/ou frutos ainda imaturos no campo e manifestam a podridão após a colheita, causando as chamadas podridões secas e úmidas portanto, epidemias destes patógenos no campo implicam em maior incidência de podridões em pós-colheita. Esse problema se agrava principalmente quando os produtos são

cultivados em locais distantes ao local de comercialização, pois o tempo de pós-colheita é longo e nestes casos torna-se possível o desenvolvimento destes patógenos.

3.2 INFECÇÕES EM PÓS-COLHEITA (INFECÇÃO IMEDIATA)

Outros patógenos infectam o órgão após a colheita por meio de ferimentos na superfície. O patógeno continua ativo e inicia seu processo de colonização, desencadeando sintomas nos tecidos do hospedeiro. Em órgãos mais carnosos a ocorrência destes patógenos são mais frequentes devido à maior facilidade de ocorrência de ferimentos. Estes patógenos são favorecidos por temperaturas mais elevadas e incitam as chamadas podridões moles e azedas.

4. PRINCIPAIS DOENÇAS EM PÓS-COLHEITA

4.1 ANTRACNOSE (Figura 5 e 6)

A antracnose é uma das doenças mais comuns em pós-colheita, sendo causada principalmente por diversas espécies do gênero *Colletotrichum* (Figura 5). No entanto, outros fungos como *Pilidium concavum* (Figura 6) podem causar estes sintomas em frutos (Lopes et al., 2010b). É uma das principais doenças em fruteiras e hortaliças cultivadas em ambientes tropicais, sendo observada em

culturas, como abacateiro, mangueira, maracujazeiro, mamoeiro, berinjela, espécies do gênero *Capsicum*, algumas cucurbitáceas (melão, melancia, pepino) citros, bananeira, morangueiro, dentre outros.

Os sintomas da doença podem variar de acordo com a cultura, órgão atacado e condições de clima, no entanto, o que normalmente se observa são lesões necróticas, profundas. No caso de antracnoses causadas por *Colletotrichum* spp., as lesões podem ser cobertas por uma massa mucilaginosa alaranjada, podendo também ser observadas pontuações escuras, levemente salientes, que correspondem aos acérvulos do fungo. Este fungo pode infectar outras partes da planta como folha, flor, pecíolo e frutos imaturos e se manter quiescente, manifestando-se após a colheita.

Espécies de *Colletotrichum* desenvolvem-se numa ampla faixa de temperatura sendo, a temperatura ideal de 24 a 26°C, associadas a períodos chuvosos, na presença de orvalho, cerrações ou excessos de irrigação. Devido aos esporos deste fungo serem produzidos em uma massa mucilaginosa, a água tem papel fundamental na sua dispersão. Em virtude da necessidade de água para dispersão, da faixa de temperatura ideal para seu desenvolvimento e a ampla gama de hospedeiros, esta doença é considerada como uma das mais importantes em regiões tropicais.

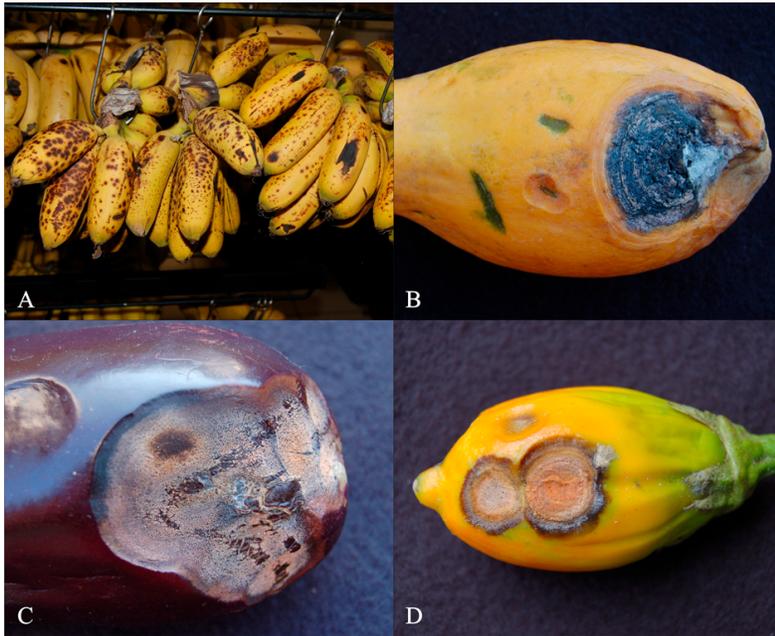


Figura 5 - Sintomas e sinais de antracnose causadas por *Colletotrichum* spp. em frutos de banana (A), mamão (B), berinjela (C) e jiló (D).



Figura 6 - Sintomas e sinais de antracnose causadas por *Pilidium concavum* em morango.

4.2 MOFO CINZENTO

O mofo cinzento, causado pelo fungo *Botrytis cinerea* é uma doença de grande importância, pois pode ocasionar rápida e completa destruição do material infectado. Diversas culturas de importância econômica como tomate, pimentão, berinjela, pêssego, morango, uva, nectarina são atacados por *B. cinerea* (Figura 7).

Órgãos infectados por este patógeno apresentam uma massa acinzentada que cobre toda a superfície, composta de micélio, conidióforos e conídios. Este fungo pode infectar outras partes da planta como folha, flor, pecíolo e frutos imaturos e se manter na forma quiescente manifestando-se após a colheita.

O fungo pode se desenvolver em uma ampla faixa de temperatura, no entanto é favorecido por temperaturas mais amenas e alta umidade. As principais dificuldades no manejo desta doença devem-se ao fato de *B. cinerea* crescer a temperaturas de refrigeração, possuir ampla gama de hospedeiros, elevada capacidade saprofítica e ser disperso pelo vento.

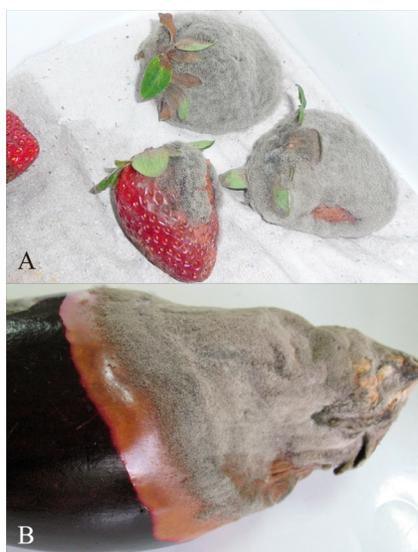


Figura 7 - Sintomas e sinais de mofo cinzento causado por *Botrytis cinerea* em frutos de morangueiro (A) e berinjela (B).

4.3 PODRIDÃO PARDA

A podridão parda no Brasil é causada pelo fungo *Monilinia fructicola* e é considerada a doença mais importante das rosáceas de caroço, estando presente nas diversas regiões produtoras do país. Dentre as culturas infectadas por este patógeno estão principalmente o pessegueiro e a nectarina, mas diversas outras rosáceas de caroço são também suscetíveis.

Os frutos atacados apresentam desenvolvimento de lesões pequenas pardacentas com aspecto encharcado, que evoluem para manchas marrons, podendo ser colonizadas por tecidos vizinhos dos fungos. Frutificações acinzentadas cobertas de esporos do fungo são facilmente vistas no campo. Após serem colonizados, os frutos maduros desidratam, tornando-se mumificados.

Este fungo pode infectar frutos verdes ainda no campo e se manter na forma quiescente, manifestando-se na pós-colheita. A infecção pode iniciar-se nas flores e prosseguir para os ramos, os quais podem fornecer inóculo aos frutos durante o crescimento e na maturação.

A doença é favorecida por temperaturas em torno de 25°C e em condições de alta precipitação, epidemias severas podem ser observadas no campo levando a perdas elevadas em pós-colheita.

4.4 PODRIDÃO MOLE

A podridão mole causada por *Rhizopus stolonifer* é uma das principais doenças pós-colheita, sendo observada durante o transporte e armazenamento. Esta doença é problema sério em diversas fruteiras e hortaliças tais como, morango, uva, mamão, berinjela, tomate etc (Figura 8).

Os sintomas são semelhantes nos diferentes produtos, ocorrendo o aparecimento de uma mancha circular aquosa e a casca se desfaz facilmente ficando a área afetada coberta de micélio branco com esporangióforos e esporângios escuros na superfície. A parte do tecido doente torna-se mole, aquosa, com extravasamento do conteúdo celular.

O fungo penetra por ferimentos e rapidamente coloniza o tecido, sendo altamente destrutível. Este fungo não incide em frutos imaturos e raramente é observado em condições de campo (Alvarez & Nishijima, 1987).

A ocorrência da doença é mais comum em órgãos carnosos ou produzidos em condições de alta umidade e excesso de nitrogênio, quando a ocorrência de ferimentos é mais frequente. O fungo se desenvolve a temperaturas mais elevadas e seu desenvolvimento é inibido a temperaturas de refrigeração sendo uma estratégia eficiente para seu controle (Lopes *et al*, 2010a).



Figura 8 - Sintomas e sinais de podridão mole causada por *Rhizopus stolonifer* em frutos de berinjela. Sintoma típico de podridão mole e início do aparecimento das estruturas do patógeno (A) e em estágio mais avançado de colonização, evidenciando a esporulação abundante sobre a superfície do fruto (B).

4.5 PODRIDÃO AZEDA

A podridão azeda é causada pelo fungo *Geotrichum candidum* e ocorre principalmente em frutos maduros ou em avançado estágio de maturação (Figura 9).

Algumas fruteiras como morangueiro, mamoeiro e citros, e hortaliças como o tomate, cenoura e batata baroa são comumente atacadas por este patógeno.

O local afetado apresenta-se coberto por esporos brancos e um característico odor acre ou etílico. Em citros, os frutos doentes exalam um forte e desagradável odor pútrido, sendo considerada a mais desagradável doença pós-colheita (Eckert, 1993). Em morangueiro as perdas causadas por este patógeno podem chegar a mais de 90% quando não se utiliza a refrigeração (Lopes, 2011).

Geotrichum candidum é considerado fungo de solo e, raramente ocasiona sérias podridões no campo. O patógeno infecta o produto através dos ferimentos, por isso deve-se ter cuidado com práticas que levem a ferimentos no momento da colheita. Atualmente é considerada um dos principais problemas microbiológicos em hortaliças minimamente processadas, especialmente a cenoura.

Temperaturas acima de 20°C, ambientes com pouca assepsia na qual se encontra solo aderido a equipamentos e com alta umidade relativa favorecem a incidência da doença, enquanto que em temperaturas inferiores a 5°C o fungo não se desenvolve.



Figura 9 - Sintomas e sinais de podridão azeda causada por *Geotrichum candidum* em frutos de morango (A) e tomate (B).

4.6 MOFO PRETO

O mofo preto causado por *Aspergillus niger* é uma das doenças mais importantes na cebola e alho, sendo considerada de ocorrência generalizada nas diversas regiões produtoras, podendo ocorrer nas fases de colheita, transporte e com maior intensidade, na fase de armazenamento e comercialização.

Em cebolas, as escamas mais externas dos bulbos apresentam esporulação pulverulenta, semelhante a um pó de carvão sobre a superfície. O fungo pode se desenvolver entre as escamas secas e mortas da parte externa e as escamas centrais mais espessas do bulbo. As escamas invadidas ficam inicialmente aquosas. Em temperaturas secas as escamas doentes secam e murcham. Massas de esporos de cor preta são visíveis entre as escamas externas. Em alho pode ocorrer a podridão completa dos bulbilhos.

A contaminação pode ocorrer no transporte ou durante o armazenamento, através do contato entre bulbos, pelo manuseio, por ferimentos mecânicos ou por disseminação dos esporos pela corrente de ar. As condições favoráveis para o seu desenvolvimento, crescimento e disseminação são temperatura e umidade elevadas. Cebolas mal curadas apresentam maior incidência do patógeno. Como agravante do problema pode-se citar o maior tempo que a cebola fica no campo após a colheita, excesso de adubação nitrogenada, ferimentos decorrentes do seu manuseio, cura e armazenamento inadequado (Silva & Ueno, 2009).

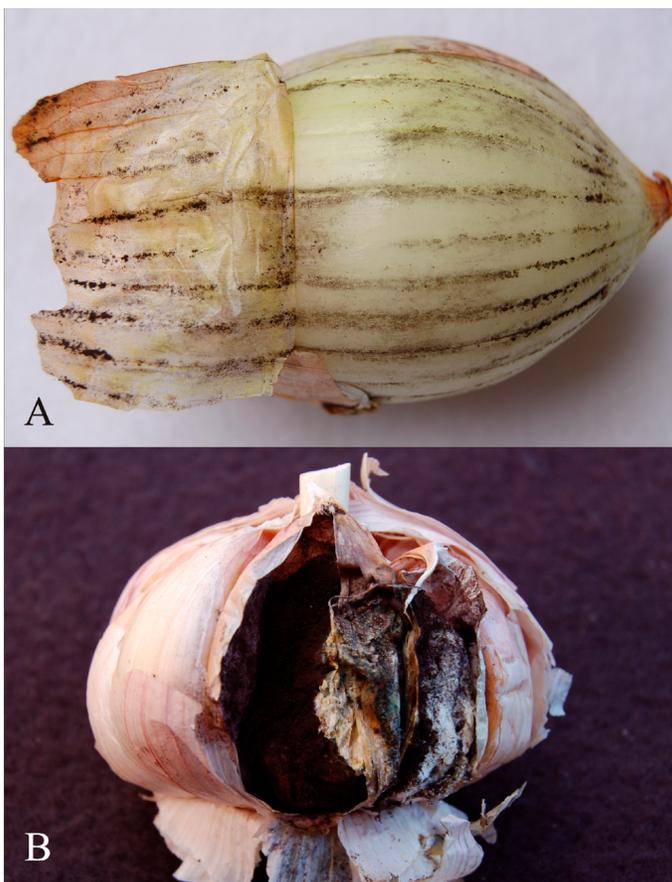


Figura 10 - Sintomas e sinais de mofo preto causado por *Aspergillus niger* em cebola (A) e alho (B).

4.7 PODRIDÃO NEGRA DA CENOURA

No Brasil, podridão negra em cenouras pode ser causada por *Thielaviopsis basicola* (sinonímia: *Chalara elegans*) e também tem sido relatada em outros países como sendo responsável por perdas pós-colheita de cenouras (Dalbosco *et al.*, 2004; Cavalcante, 2020). O patógeno é dependente de injúrias para penetração, que inevitavelmente ocorrem durante a colheita. Os sintomas manifestam-se após a colheita, caracterizando-se por manchas inicialmente acinzentadas, progredindo para negras devido à produção das estruturas de resistência do patógeno (clamidósporos). Com a progressão da doença, as manchas negras coalescem cobrindo toda a superfície do órgão afetado levando ao apodrecimento do produto (Figura 11).

Condições de alta umidade e temperaturas mais elevadas favorecem o desenvolvimento da doença. Por tratar-se de patógenos de solo, deve-se evitar o plantio de cenouras em áreas infestadas. Iscas de cenoura podem ser utilizadas para detecção desses patógenos em amostras de solo (Alfenas *et al.*, 2016).



Figura 11 - Sintomas e sinais de podridão negra causada por *Thielaviopsis basicola* em cenoura.

4.8 PODRIDÃO PEDUNCULAR

A podridão peduncular é causada por patógenos de diversos gêneros tais como, *Colletotrichum*, *Lasiodiplodia*, *Didymella*, *Fusarium*, *Phomopsis* etc. Diversas culturas podem ser atacadas pelos mais variados patógenos causando a podridão peduncular (Quadro 1).

A podridão peduncular é considerada uma doença pós-colheita por manifestar seus sintomas normalmente ao longo do

amadurecimento dos frutos. O fungo penetra pelo pedúnculo logo após a colheita e infecta a fruta permanecendo na forma quiescente enquanto a fruta não atinge o ponto de amadurecimento, fase em que a podridão peduncular se manifesta. Além disso, ocasiona infecções nas partes laterais da polpa, desqualificando a fruta para o mercado (Figura 12).

Quadro 1 - Fungos causadores de podridão peduncular em algumas fruteiras.

| | |
|----------------|--|
| Côco | <i>Cylindrocladium floridanum</i> <i>Lasiodiplodia theobromae</i> |
| Mamão | <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> <i>Lasiodiplodia theobromae</i> <i>Fusarium solani</i> |
| Manga | <i>Lasiodiplodia theobromae</i> <i>Dothiorella dominicana</i> |
| Limão 'Tahiti' | <i>Phomopsis citri</i> <i>Lasiodiplodia theobromae</i> . |
| Citros | <i>Diaporthe citri</i> <i>Phomopsis citri</i> |
| Banana | <i>Colletotrichum musae</i> <i>Lasiodiplodia theobromae</i> <i>Musicillium theobromae</i> |

Os produtores muitas vezes não tomam o devido cuidado no momento da colheita, colhendo-se os frutos, muitas vezes, em dias chuvosos ou nas primeiras horas da manhã, quando ainda não ocorreu a total evaporação do orvalho noturno, além de utilizarem ferramentas contaminadas durante a colheita.

Condições de alta umidade e temperaturas mais elevadas favorecem o desenvolvimento destas doenças.



Figura 12 - Sintomas de podridão peduncular em banana causado por *Lasiodiplodia theobromae*. Sintomas externos de podridão do pedúnculo (A) e sintomas internos de podridão do fruto decorrentes da podridão peduncular (B).

4.9 BOLOR VERDE

O bolor verde, causado por *Penicillium digitatum* é economicamente uma das mais importantes doenças de pós-colheita dos citros (Figura 13). Sua ocorrência pode ser observada na colheita, transporte e mais especificamente na fase de armazenamento e em menor frequência em pomares na fase final de maturação dos frutos.



Figura 13 - Sintomas e sinais de bolor verde causado por *Penicillium digitatum* em laranja.

O sintoma inicial é uma mancha circular de aspecto encharcado com ligeira descoloração da superfície do fruto, que evolui para podridão mole, tornando-se coberta com micélio branco. Posteriormente, esporos pigmentados são formados no centro das le-

sões, sendo que *P. digitatum* caracteriza-se por apresentar coloração verde-olivácea.

A ocorrência de infecção se dá quando o conídio disseminado pelo vento cai na superfície ferida do fruto onde germina e ocorre a penetração.

A temperatura ideal para o desenvolvimento do fungo está entre 20 e 25°C, enquanto que, acima de 30°C e abaixo de 10°C o fungo se desenvolve lentamente. O fungo sobrevive saprofiticamente em pomares e outros ambientes, sobre vários tipos de substratos orgânicos, na forma de conídios.

4.10 PODRIDÃO BACTERIANA

As podridões bacterianas são problemas especialmente em hortaliças, sem expressão significativa em frutas. Além do elevado teor de água, o pH mais elevado em hortaliças favorece a colonização bacteriana, em detrimento ao pH mais baixo em frutos (especialmente devido ao ácido cítrico em sua composição) que desfavorece a colonização por bactérias. As podridões bacterianas são causadas especialmente por bactérias do gênero *Pectobacterium*, mas também podem ser causadas por espécies dos gêneros *Pseudomonas*, *Burkholderia* e eventualmente até mesmo bactérias entéricas a exemplo de *Enterobacter* e normalmente possuem odor fétido. Para penetração, as bactérias causadoras de podridões em pós-colheita são dependentes de injúrias ocorridas entre a colheita e comercialização,

com destaque para a fase de lavagem. Os sintomas caracterizam-se por áreas encharcadas, que progridem para o amolecimento do órgão afetado, em função da maceração enzimática dos tecidos pelas enzimas pectolíticas produzidas pelas bactérias. As podridões bacterianas podem causar perdas de até 100%, especialmente em condições de temperatura e umidade elevadas (Figura 14).

A exemplo de diversas podridões fúngicas, o controle das podridões bacterianas deve ser focado em medidas preventivas na fase pré-colheita, pois seu controle é muito dificultado na fase de pós-colheita. Na fase pré-colheita, deve-se buscar medidas que visem à redução da população bacteriana no campo, a exemplo da rotação de culturas com gramíneas, uso de sementes ou material propagativo saudáveis e o uso de variedades resistentes quando disponíveis no mercado. Em pós-colheita, a atenção deve ser redobrada em hortaliças lavadas, evitando a reutilização sucessiva da água de lavagem e promovendo a secagem adequada do produto após lavagem.

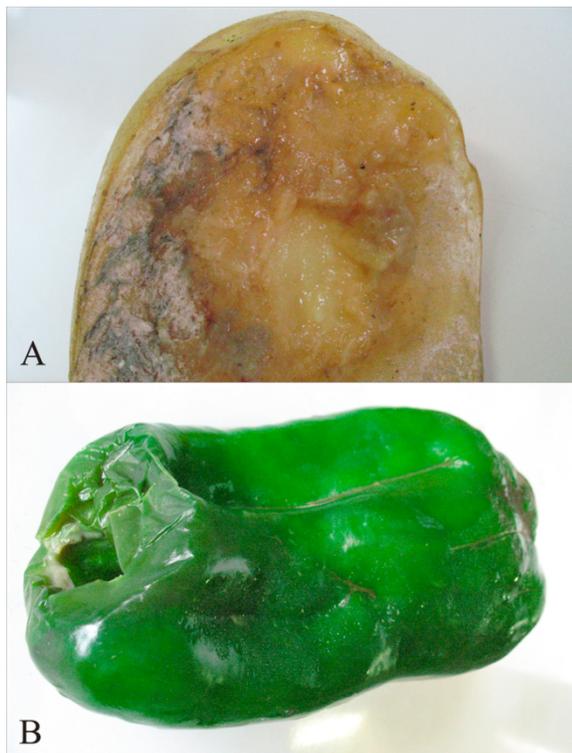


Figura 14 - Sintomas de podridão mole bacteriana em batata (A) e pimentão (B).

5. MANEJO INTEGRADO DE PODRIDÕES EM PÓS-COLHEITA

Diversos patógenos são capazes de infectar frutas e hortaliças levando a ocorrência de podridões em pós-colheita. Alguns destes patógenos são conhecidos por infectar seu hospedeiro e causar doença somente após a colheita do produto, contudo alguns patógenos podem infectar o produto comercial e outros órgãos da planta ainda no campo. Em ambos os casos as perdas causadas por estes patógenos na pós-colheita são de grande relevância sendo necessário seu manejo de forma a minimizar as perdas.

O manejo de podridões em frutas e hortaliças é um desafio devido à grande suscetibilidade da maioria destes produtos. Para se obter sucesso no manejo, deve-se ter em mente que não é possível a disponibilização de um produto de qualidade se atentando apenas para a pós-colheita, pois uma vez que um produto de má qualidade foi produzido não é possível melhorar sua qualidade após a colheita. Portanto, para se obter um produto com sanidade pós-colheita é necessário se ter uma visão holística de todo o processo produtivo e não apenas de parte do processo, atentando para cada fase e assim verificando as falhas e implementando estratégias para redução destas perdas.

O manejo integrado de doenças se baseia na utilização de múltiplas estratégias de manejo que são feitas de forma integrada nas diversas fases de produção desde o planejamento da cultura, passando pelo cultivo, colheita, até o consumidor final. As estratégias

de manejo podem atuar sobre o patógeno, o ambiente ou hospedeiro desfavorecendo a ocorrência de podridões.

O conjunto de estratégias que podem ser utilizadas em um programa de manejo integrado de podridões em pós-colheita de frutas e hortaliças é variável em função da cultura, do patógeno agente causal da podridão, do clima, sistema de cultivo adotado etc. Em cada situação existem inúmeras estratégias passíveis de uso, no entanto, cabe ao técnico habilitado recomendar a melhor estratégia ou conjunto de estratégias a ser implementada. Abaixo serão discutidas algumas estratégias comumente utilizadas e exemplos de patógenos os quais elas se aplicam, lembrando que diversas outras estratégias além das citadas abaixo podem ser inseridas em um sistema de manejo integrado de podridões em pós-colheita.

Escolha da área para plantio

O histórico da área deve ser observado sempre que possível e áreas infestadas por patógenos devem ser evitadas. Esta medida é importante no manejo de patógenos que habitam o solo como *Geotrichum candidum*, *Thielaviopsis basicola*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfii*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Roselinia sp.* e *Pectobacterium carotovorum*.

No planejamento da cultura é essencial que plantios escalonados na mesma área sejam evitados, pois patógenos nas

lavouras mais velhas podem infectar a cultura mais nova levando a redução da sanidade dos produtos nestas áreas. Essa medida é eficiente no manejo de doenças pós-colheita que ocorrem na fase de produção, como mofo cinzento e antracnose.

Áreas sujeitas a encharcamento ou com excesso de umidade devem ser evitadas, principalmente no caso da implantação de culturas de baixo porte cujo produto comercial se encontra próximo ao solo e no caso de tuberosas cujo contato com o solo é constante.

Eliminação de restos de cultura

Restos da cultura anterior devem ser removidos da área sempre que possível, reduzindo desta forma o inóculo de patógenos que ocorreram no cultivo anterior (Figura 15). Os restos podem ser recolhidos da área e posteriormente enterrados ou queimados. Como este processo é oneroso, outra estratégia passível de uso é incorporar o material ao solo para acelerar o processo de decomposição ou realizar a rotação com uma espécie que não seja hospedeira do patógeno em questão. Geralmente recomenda-se a rotação com espécies de famílias não relacionadas pelo fato das doenças que ocorrem serem diferentes, no entanto, cada caso deve ser analisado de forma isolada. Essa medida é eficiente para controle de doenças como antracnose e mofo cinzento.



Figura 15 - Restos de cultura de jiló contendo frutos com sintomas de antracnose. Recomenda-se a retirada desse material da área de cultivo ou incorporação para facilitar o processo de decomposição.

Mudas

Dois fatores relacionados às mudas devem ser levados em consideração quanto ao planejamento de um novo plantio. O primeiro é a cultivar a ser plantada, pois elas podem variar quanto à suscetibilidade às podridões, portanto, cultivares com maior resistência às podridões devem ser utilizadas desde que estas sejam bem aceitas pelos consumidores. O segundo é a sanidade das mudas utilizadas na implantação da cultura, pois muitos patógenos são

capazes de infectar mudas e sementes e se manterem na cultura ao longo da fase de produção causando danos em pós-colheita a exemplo de *Colletotrichum* spp., *Pestalotia* sp. e *Sclerotium rolfsii* (Figura 16).



Figura 16 - Material propagativo de gengibre contendo escleródios de *Sclerotium rolfsii*.
Recomenda-se a inspeção sanitária de materiais propagativos antes da implantação da cultura.

Medidas que evitem o contato com o solo

Estas medidas são eficientes para se reduzir as podridões causadas por patógenos habitantes de solo como *Geotrichum candidum*, *Rizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotium*

rolfsii e aqueles que podem sobreviver em restos de cultura como *Colletotrichum* spp., *Botrytis cinerea*, *Phytophthora* spp., *Pectobacterium carotovorum*, *Aspergillus* spp. No caso destes patógenos, grande parte do inóculo está no solo seja ele nas partículas ou em restos da cultura anterior. Medidas como a cobertura de canteiros e entrelinhas são eficientes no manejo de podridões causadas por estes fungos. Para cobertura de canteiros pode ser utilizada matéria morta como serragem, capim seco etc., contudo, o uso do *mulching* plástico é o mais recomendado por ser mais resistente à decomposição e não necessitar de reposição ao longo do ciclo da cultura. Como cobertura de entrelinhas a utilização de matéria morta como a serragem ou capim são as mais recomendadas. A cobertura de canteiros e entrelinhas se mostra útil principalmente no caso de hortaliças devido à proximidade do produto ao solo, exemplo do morangueiro (Figura 17).

O cultivo suspenso assim como o hidropônico também é eficiente para reduzir podridões causadas por estes patógenos, porém necessitam de um investimento maior em infraestrutura o que nem sempre é possível.



Figura 17 - Efeito da cobertura de canteiros e cobertura morta entre linhas evitando contato de frutos de morangueiro ao solo. À esquerda mulching sem coberturas nas entrelinhas mostrando solo sob o mulching. À direita plantio com mulching e cobertura entre canteiros não evidenciando desprendimento de solo.

Eliminação de órgãos doentes na lavoura

Folhas, flores, ramos e frutos doentes devem ser coletados periodicamente, retirados da lavoura e eliminados por meio da queima ou enterro (Figura 18). Apesar do custo elevado, para algumas culturas as quais são altamente suscetíveis a podridões e o produto possuir custo elevado, a retirada de material doente da lavoura é altamente recomendada e os custos são facilmente recompensados, principalmente para reduzir doenças como a podridão parda, mofo cinzento, antracnose e podridões pedunculares.



Figura 18 - Frutos de pimentão (A) e morangueiro (B) infectados com *Botrytis cinerea* no campo, servindo como fonte de inóculo.

Manejo da irrigação

A irrigação por gotejamento é a mais recomendada, pois este sistema de irrigação não molha a parte aérea das plantas reduzindo a umidade nas folhas e frutos e também evitando a dispersão de

esporos dentro da cultura mais notadamente dos fungos como *Colletotrichum*, *Pilidium* e *Pestalotia* cuja água é o principal veículo de dispersão. Em cultivos de fruteiras de grande porte a irrigação por microaspersão tem sido a mais recomendada. Caso a irrigação por gotejamento não seja possível devido à falta de estrutura ou mesmo a impossibilidade de instalação do sistema, deve-se preferir irrigar ao amanhecer, pois as folhas e frutos ainda se encontram úmidas. Desta forma a irrigação não irá se aumentar o período de molhamento o que favorece a ocorrência de podridão. Contudo, independente do método de irrigação deve-se evitar o excesso de água que pode levar ao aumento de patógenos na área de cultivo além de deixar os produtos mais suculentos, aumentando a ocorrência de fermentos e incidência de patógenos.

Adubação equilibrada

A adubação é prática rotineira na condução de uma cultura, no entanto, ela deve ser equilibrada garantindo maior resistência aos frutos. Este efeito é claramente observado com o nitrogênio, sendo que os produtos produzidos sob condições de alto suplemento de nitrogênio tornam-se suculentos e mais suscetíveis a ocorrência de podridões, principalmente aquelas causadas por *Rhizopus stolonifer* e *Mucor* spp.

Cultivo protegido

Esta forma de cultivo tem crescido muito nos últimos anos, tendo como vantagem de possibilitar um ambiente mais controlado evitando desta forma o molhamento devido à chuva e orvalho, desfavorecendo a dispersão e infecção dos patógenos. Diversas formas de cultivos protegidos podem ser utilizadas como o túnel baixo (Figura 19), túnel alto e estufas (Figura 20). Esta estratégia é eficiente no manejo de antracnose reduzindo em alguns casos a doença à zero. Esta estratégia é utilizada principalmente em hortaliças cujo porte é reduzido e valor agregado mais elevado.



Figura 19 - Cultivo protegido de morangueiro em sistema de túnel baixo.
Túnel aberto (A) e túnel fechado (B).



Figura 20 - Cultivo protegido de pimentão em estufa.

Ponto ideal de colheita

Para se definir o ponto ideal de colheita para cada produto, é essencial o conhecimento acerca da cultura. De uma forma geral, quando se pensa na redução de podridões em pós-colheita, o ideal

é que a colheita seja realizada com frutos ainda imaturos quando estes se encontram mais firmes, mas isso só é possível no caso de frutos climatérios. No caso de frutos não climatérios o ideal é que os frutos não estejam excessivamente maduros, o que os tornam mais resistentes a danos na superfície reduzindo assim a incidência de patógenos que penetram por ferimentos como aqueles causadores das podridões moles e azeda.

Para hortaliças tuberosas é essencial que estas estejam completamente desenvolvidas e que a planta já se encontre em estágio de senescência, nesta situação os tubérculos e raízes tuberosas se encontram firmes, reduzindo assim ferimentos durante as operações de colheita e manuseio posterior. Esta estratégia é eficiente no manejo das podridões negra e azeda em cenoura.

Evitar ferimentos durante a colheita

Os produtos variam quanto à suscetibilidade a ferimentos desde altamente suscetíveis como o morangueiro até produtos mais resistentes como abacate. No geral, durante a colheita, devem ser evitados golpes, manuseio excessivo ou qualquer medida que cause ferimento ao produto, pois fungos como *R. solonifer*, *G. candidum*, *Mucor sp.*, *T. basicola* e bactérias como *P. carotovorum* não são capazes de penetrar a superfície intacta necessitando de ferimentos.

A colheita deve ser realizada nas horas mais frescas do dia, evitando-se as colheitas em dias chuvosos a fim de manter a integridade das frutas. Os recipientes utilizados são os mais diversos,

porém aqueles que retêm menos contaminação, que evitem fermentos e que são passíveis de higienização devem ser preferidos. No caso de alguns produtos como cebola e alho são essenciais que os órgãos sejam mantidos expostos ao ambiente após a colheita para que ocorra a perda de água, aumentando assim a conservação em pós-colheita por evitar o desenvolvimento de patógenos como *Aspergillus niger*.

Recipientes para embalagem

Não existe uma embalagem padrão para frutas e hortaliças, elas variam em função do produto, mercado consumidor, meio de transporte etc. A embalagem adequada deve conter atributos como ser de fácil manuseio, evitar danos físicos ao produto e permitir a saída de umidade dificultando assim o desenvolvimento de patógenos. Alguns produtos devido a sua maior resistência podem ser transportados em sacos de linhagem como algumas tuberosas, outros em caixas plásticas de grande volume e outros devem ser acondicionados em pequenas embalagens a fim de se evitar amassamentos.

Controle químico

O controle químico é uma das estratégias mais comumente utilizadas no manejo das doenças, este pode ser realizado no campo, durante a fase de produção conforme é feito na maioria dos casos

ou em alguns casos em pós-colheita. No entanto, o controle químico deve ser utilizado com critérios e isto se agrava no caso de frutas e hortaliças, pois estes produtos são consumidos na sua maioria na forma *in natura* e em grande parte das frutas e hortaliças a produção é contínua sendo realizadas colheitas frequentes, nestes casos a aplicação de fungicidas se torna difícil, pois o período de carência dos produtos deve ser maior que o intervalo de colheita. O controle químico na fase de produção é importante por reduzir o risco de infecção dos produtos e posterior manifestação das podridões em pós-colheita. Diversos fungicidas são registrados para controle de doenças em frutas e hortaliças na fase de produção, porém, só os fungicidas imazalil e tiabendazol são registrados para tratamento em pós-colheita (Mapa, 2020).

Além do uso de fungicidas e bactericidas, é muito comum o uso de sanitizantes no manejo de doenças em pós-colheita. A aplicação de agentes químicos como o hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e dióxido de cloro promove a diminuição na concentração e atividade microbiana na superfície de frutas e hortaliças. Para desinfestação de equipamentos e câmeras de frigoconservação é utilizado produtos halogenados, quaternário de amônio, formaldeído, ácido peracético, dentre outros produtos que atuam diminuindo a fonte de inóculo.

Controle biológico

O uso de micro-organismos antagonistas é uma alternativa ao uso de fungicidas no manejo de doenças em pós-colheita. Diversos produtos comerciais com formulações biológicas estão registrados

para controle de doenças pós-colheita em frutos no Brasil. Micro-organismos antagonistas podem ser aplicados antes ou após a colheita, entretanto, quando aplicados após a colheita são mais efetivos. De uma forma geral, os principais modos de ação de micro-organismos antagonistas, contra fitopatógenos causadores de doenças em pós-colheita, são: antibiose (produção de antibióticos) competição, secreção de enzimas líticas (principalmente glucanases, quitinases), e indução de resistência.

Uso de sais orgânicos e inorgânicos

Como alternativa ao uso de fungicidas convencionais, o uso de compostos com mínimo efeito toxicológico em mamíferos e reduzido impacto ambiental vem ganhando destaque. Dentre eles, o uso de sais (orgânicos e inorgânicos) aplicados nos frutos, através de solução aquosa, após a colheita. Carbonato de sódio, bicarbonato de sódio, sorbato de potássio são exemplos de sais com eficiência relatada no manejo da podridão verde e azul em citros (Palou et al., 2016).

Revestimentos artificiais

Revestimentos artificiais em produtos hortícolas frescos está sendo cada vez mais empregado em pós-colheita para reduzir perdas de peso e tamanho, e melhorar a aparência. Normalmente, os revestimentos comerciais são a base de ceras com a presença de

fungicidas convencionais. Entretanto, com a crescente demanda por alternativas ao uso de fungicidas, nos últimos anos, intensificou-se as pesquisas buscando o desenvolvimento de revestimentos comestíveis antifúngicos de origem animal ou vegetal, baseados em formulações biodegradáveis. Nesse contexto, o uso da quitosana no revestimento de frutos vem ganhando destaque. A quitosana é um biopolímero que apresenta propriedades antimicrobianas, produzida através da quitina, um polissacarídeo encontrado no exoesqueleto de crustáceos.

Aplicação de óleos essenciais

A aplicação extratos de plantas aromáticas (óleos essenciais) é uma prática que vem sendo adotada no manejo de doenças pós-colheita. A maioria dos óleos essenciais são caracterizados por um a três compostos principais, que confere odor e *flavor* característico ao óleo, e geralmente, são os ingredientes ativos. Estudos comparativos da atividade antifúngica de vários óleos essenciais, mostram que, principalmente aqueles que contém carvacrol e timol, exibem alta influência inibitória no desenvolvimento de fitopatógenos causadores de doenças em pós-colheita (Mari *et al.*, 2016).

Micofumigação

Após a descoberta do potencial de alguns fungos em emitir compostos orgânicos voláteis (VOCs) com propriedades antimicrobianas, deslumbrou-se o seu uso no controle de doenças em pós-colheita, através da micofumigação. Uma peculiaridade dos VOCs antimicrobianos, é que esses podem se difundirem pelo ar, atingindo habitats de difícil acesso em ambientes fechados. Essa propriedade faz com que os VOCs antimicrobianos emitidos por fungos seja uma adicional, valiosa, estratégia para biocontrole de doenças pós-colheita (Gomes *et al.*, 2015).

Resfriamento

Este método de controle físico é sem dúvida o mais utilizado, muitas vezes inconscientemente, quando frutas e hortaliças são colocadas em refrigeradores nas casas de consumidores. No entanto, para diversas frutas e hortaliças, o resfriamento logo após a colheita é estratégia essencial para manter a sanidade dos produtos. O resfriamento rápido ou pré-resfriamento consiste em retirar imediatamente o calor da fruta trazida do campo, antes de alcançar sua temperatura de conservação definitiva. Com isto, se reduz a taxa respiratória e se prolonga a conservação do produto, também reduz o metabolismo de patógenos que podem estar presentes aumentando a vida em pós-colheita das frutas e hortaliças. Para diversos produtos agrícolas o uso da refrigeração é uma estratégia que tem muito a

crescer, e realmente isso vem acontecendo, conforme observamos nas regiões produtoras, investimentos em câmaras de refrigeração e em supermercados, onde diversas frutas e hortaliças são acondicionadas em expositores refrigerados.

Alteração da atmosfera de armazenamento

A alteração na atmosfera de armazenamento é outro método de controle físico empregado no manejo de doenças em pós-colheita. Seja através da adição ou remoção de gases da atmosfera de maneira controlada (atmosfera controlada) ou alterações decorrentes do metabolismo vegetal (atmosfera modificada), com consumo de O_2 e produção de CO_2 em ambiente fechado. A modificação ou controle da atmosfera reduz a taxa respiratória e retarda os processos bioquímicos de maturação e senescência, protelando a perda de firmeza dos tecidos vegetais e reduzindo a sua vulnerabilidade ao ataque de fitopatógenos. Adicionalmente, o retardamento do amadurecimento e senescência proporciona a manutenção da capacidade do fruto em produzir compostos antimicrobianos.

O manejo de podridão em pós-colheita de frutas e hortaliças é complexo e deve se iniciar na fase de planejamento, seguir pelo cultivo e colheita até chegar ao consumidor final com uma visão holística de todo o processo utilizando sempre que possíveis estratégias integradas de manejo, obtendo assim, um produto de melhor qualidade e em maior quantidade.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- ALFENAS AC; FERREIRA FA; MAFIA RG; GONÇALVES RC. 2016. Isolamento de Fungos Fitopatogênicos. In: ALFENAS AC; MAFIA RG. (Eds). *Métodos em Fitopatologia. 2ed. UFV: Viçosa, Minas Gerais. p. 55-93.*
- ALVAREZ AM; NISHIJIMA WT. 1987. Postharvest diseases of papaya. *Plant Disease* 71: 681-686.
- BARKAI-GOLAN R. 2001. Factors affecting disease development. In: BARKAI-GOLAN R. (Eds). *Postharvest diseases of fruits and vegetables development and control.* ELSEVIER: Amsterdam. p. 33-53.
- CAVALCANTE SYS. 2020. Etiologia da podridão negra da cenoura no Brasil. UFRPE: Recife. 56p. (Dissertação de Mestrado)
- DALBOSCO M; EL TASSA SOM; DUARTE V. 2004. Ocorrência de podridão negra, causada por *Chalara elegans*, em raízes de cenoura no Rio Grande do Sul. *Fitopatologia Brasileira* 29: 336.
- ECKERT, JW. 1993. Postharvest diseases of citrus fruits. *Agriculture Outlook* 54: 225-232.
- GOMES AAM; QUEIROZ MV; PEREIRA OL. 2015. *Mycofumigation for the Biological Control of PostHarvest Diseases in Fruits and Vegetables: A Review. Austin Journal of Biotechnology & Bioengineering 2: id1051.*
- GONZALES E; UMANA G; ARAUZ LF. 1999. Combate de la pudricion peduncular del mango causada por *Botryodiplodia theobromae* Pat. mediante el mantenimiento de los pedicelos y eldeslechado sobre laminas. *Agronomia Costarricense* 23: 31-35.

HARVEY JM. 1978. *Reduction of losses in fresh market fruits and vegetables. Annual Review Phytopathology* 16: 321-41.

KADER AA. 1991. *Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry*. In: LUBY JJ; DALE A. (Eds). *The strawberries into the 21st century*. Timber Press. Portland: Oregon, USA. p.145-151.

LOPES UP. 2011. *Podridões em pós-colheita de morango: Etiologia e efeito de produtos a alternativos*. UFV: Viçosa. 55p. (Tese de Mestrado).

LOPES UP; SOUZA NETO PN; LOPES UN; NOGUEIRA JUNIOR AF; ROSADO AWC; COSTA H; ZAMBOLIM L; COSTA AF. 2010a. *Desenvolvimento de patógenos em frutos de morangueiro submetidos a diferentes tempos de armazenamento a 20C*. *Horticultura Brasileira* 28: 1073-1076. (Suplemento).

LOPES UP; ZAMBOLIM L; LOPES UM; PEREIRA OL; COSTA H. 2010b. First report of *Pilidium concavum* causing tan-brown rot in strawberry in Brazil. *Plant Pathology* 59: 1171-1172.

MAPA. 2020. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Acessado em 01 de setembro de 2020.

MARI M; BAUTISTA-BAÑOS S; SIVAKUMAR D. 2016. Decay control in the postharvest system: Role of microbial and plant volatile organic compounds. *Postharvest Biology and Technology* 122: 70-81.

MICHEREFF SJ; ALBUQUERQUE HS; SILVA JA; SILVEIRA NSS; GEBER DA. 2004. Ocorrência e controle de fungos contaminantes em câmaras de frigoconservação de frutos na cidade de Recife. *Summa Phytopathologica* 30: 198-203.

OLIVEIRA SMA; TERAIO D; DANTAS SAF; TAVARES SCCH. 2006.(Eds). *Patologia pós-colheita: Frutas, olerícolas e ornamentais tropicais*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 855p.

PALOU L; ALI A; FALLIK E; ROMANAZZI G. 2016. GRAS, plant- and animal-derived compounds as alternatives to conventional fungicides for the control of postharvest diseases of fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology* 122: 41-52.

SILVA CFB; MICHEREFF SJ; ALBUQUERQUE HS; SILVA JA; OLIVEIRA SMA; DANTAS SAF. 2002. *Epidemiologia de enfermidades fungicas de postcosecha en frutos de papaya. Boletín Micológico* 17: 1-17.

SILVA LP; UENO B. 2009. *Mofo preto da cebola causada por Aspergillus niger como fator limitante para a comercialização de bulbos de cebola no Rio Grande do Sul. Tropical Plant Pathology* 34 (Suplemento).

VILELA NJ; LANA MM; MAKISHIMA N. 2003. O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças. *Horticultura Brasileira* 21: 141-143.

ZAMBOLIM L; COSTA H; VENTURA JÁ; VALE FXR. 2002. Controle de doenças em pós-colheita de frutas tropicais. In: ZAMBOLIM L. (Ed). *Manejo integrado de pragas e doenças: fruteiras tropicais*. p. 443-512.



CAPÍTULO 10



PÓS-COLHEITA DO TUBÉRCULO DE BATATA

Fernando Luiz Finger

Christiane de Fátima M. França

Fernanda Cristina Silva

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma das mais importantes fontes de alimento para a população humana, em virtude da elevada produtividade e qualidade nutricional de seus tubérculos (Evangelista et al., 2011). O potencial de conservação do tubérculo de batata, após ser colhido do solo, é definido pelo grau de maturidade fisiológica e pela dormência da cultivar. Porém a conservação é influenciada pela temperatura de armazenamento, danos mecânicos e composição da atmosfera de armazenamento. Se colhido precocemente, a periderme do tubérculo é imatura e pouco resistente a danos mecânicos, sendo muito frágil e com reduzidas camadas suberizadas. Em tubérculos maduros ou após a cura de dano, o tubérculo torna-se mais resistente as injúrias tanto de natureza abiótica como biótica durante o armazenamento.

A maior parte da produção de batata no Brasil é destinada para consumo doméstico comercializada de forma *in natura*, sendo cerca de 17% destinada ao processamento industrial (pré-frita congelada, chips e batata palha).

Neste capítulo serão abordados diversos aspectos da qualidade e conservação pós-colheita do tubérculo, com ênfase para a influência da maturidade na colheita, a importância da cura, a temperatura de armazenamento e distúrbios fisiológicos oriundo do campo e desenvolvidos na pós-colheita.

2. DESENVOLVIMENTO DO TUBÉRCULO

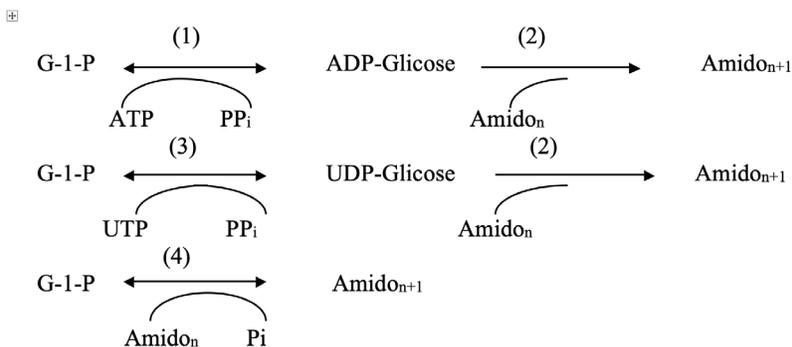
O tubérculo da batata é considerado um caule modificado, o qual possui folhas, gemas, internódios e caule radialmente expandido. A parte distal do tubérculo é chamada região da gema apical, enquanto que a parte proximal é denominada ponto de ligação do estolão ou hilo.

A formação de tubérculos, processo conhecido como tuberização, envolve a interação tanto de fatores do meio como endógenos da planta e está sob a influência da luz, temperatura e nutrição da planta; contudo, fatores químicos endógenos como fitormônios parecem determinar o início da formação dos tubérculos.

Os tubérculos são diferenciados nas extremidades dos estolões formados na parte basal da planta. Quando a tuberização é induzida, os estolões alteram o padrão de crescimento longitudinal para

radial, caracterizado por divisões celulares e expansão celular. Uma vez induzida a tuberização, a taxa de crescimento dos tubérculos permanece lenta por período de 7-9 dias, passando então a fase de crescimento exponencial, de 2-3 semanas, seguida de fase de crescimento linear e, finalmente, uma fase de desaceleração da taxa de crescimento, seguido do período fixação da casca e senescência da parte aérea.

Nos tubérculos formados, o amido constitui-se na principal fonte de reserva, atingindo 60-80% da matéria seca. A deposição dos grãos de amido nos amiloplastos decorre da transformação de sacarose, glicose e maltose em amilose e amilopectina. Diversas enzimas participam da síntese do amido, contudo o precursor comum é a glicose-1-fosfato (G-1-P). No processo de formação dos grãos de amido, a glicose é incorporada a um precursor amido_{n+1} conforme segue:



Enzimas

- (1) ADP-glicose pirofosforilase
- (2) Amido sintase
- (3) UTP-glicose pirofosforilase
- (4) Amido fosforilase

Diversos estudos têm mostrado que a rota predominante de síntese *in vivo* dá-se através da enzima ADP-glicose pirofosforilase, enquanto que a enzima amido fosforilase parece estar ligada a degradação do amido.

3. PERIDERME

A periderme constitui-se em tecido formado por camadas de células suberizadas, sendo formado a partir de divisões das células epidérmicas e subepidérmicas. Tubérculos de batata com até 1,0 cm de diâmetro são cobertos por uma epiderme que é substituída pela periderme nos primeiros estádios de desenvolvimento dos tubérculos, contudo, esta permanece imatura até o final do crescimento dos mesmos. Sua taxa de formação aumenta com a maturação do tubérculo, sendo máxima em tubérculos recém colhidos e diminui ao longo do armazenamento.

A periderme é constituída por três tipos de células:

- a) Felema - corresponde a casca do tubérculo, sendo formado a partir da divisão das células do felogênio, resultando em um tecido corticoso com 6 a 10 camadas de células suberizadas.
- b) Felogênio - camada de células meristemáticas da periderme, formada a partir da epiderme, sendo caracterizado pela presença de células suberizadas sem espaços intercelulares.
- c) Feloderme - camada mais interna da periderme que contém reserva de amido, o qual é utilizado pelas células do felogênio.

A periderme nativa é um tecido de proteção que cobre a superfície do tubérculo, sendo perfurada por lenticelas e gemas durante o crescimento. Dentre as funções das células da periderme destacam-se a restrição da penetração de patógenos presentes no solo, regulação da taxa de trocas gasosas e perda de água, bem como a proteção dos tecidos internos do tubérculo de injúrias mecânicas diversas. Assim, esse tecido influencia a vida pós-colheita de tubérculos de batata, visto que a resistência à perda de água é maior quando a periderme está madura e intacta, devido à adesão do felema aos tecidos vizinhos, fato que pode ser evidenciado pela maior resistência dos tubérculos à remoção da casca. Periderme imatura permite à passagem de vapor de água em taxas 28 vezes superiores a observada em periderme madura.

Um fator importante é a espessura da periderme no momento da colheita, pois, geralmente, as plantas são colhidas quando ainda verdes e em crescimento ativo. Sob estas condições, a periderme é delgada e facilmente danificada. Como consequência, os tubérculos

estão sujeitos aos cortes, abrasões, perda de água e invasão de patógenos. Uma alternativa é promover a senescência das plantas de batata antes da colheita, o que é possível devido à aplicação de químicos apropriados, remoção mecânica ou arranquio. Entretanto, a destruição artificial da folhagem de batata acelera a formação da periderme, porém em menor grau quando comparado ao obtido durante a maturidade natural (Ewing, 1997).

Após a colheita, os tubérculos devem passar por um período de cura, no qual se completará a formação da periderme e cicatrização dos ferimentos de colheita e manuseio. Este processo pode ocorrer tanto nos galpões como no campo, desde que os tubérculos estejam cobertos com saco de pano ou algum outro material, para evitar queimaduras de sol. Além disso, é necessário protegê-los da chuva, pois essa inibe a cicatrização. A cobertura com lona é uma alternativa, todavia impede a circulação de ar, fator importante durante a cura. Assim, o processo da cura ocorre adequadamente quando os tubérculos são armazenados em temperaturas entre 10 e 20°C, com umidade relativa em torno de 85%, por período de aproximadamente uma semana. Cura de tubérculos a 15°C, por 10 dias, propicia redução de 35% na infecção por *Helminthosporium solani*, após armazenamento a 9°C, pelo período de até 6 meses (Hide et al., 1994). Conforme a temperatura diminui o tempo para ocorrer a cura aumenta, e a 13°C, esta demora cerca de 12 dias. Sob baixa umidade, não ocorre a formação da periderme, havendo secamento da superfície da periderme em formação. A suberização é mais rápida em temperatura elevada (acima de 25°C), alta umidade relativa (cerca de 90%) e alto suprimento de oxigênio. Entretanto, estas condições

favorecem também os fitopatógenos, fazendo com que a cura no armazenamento da batata (principalmente batata-semente) deva ser feita em temperatura baixo de 15°C e umidade abaixo de 90%, sendo necessário evitar a condensação de umidade na superfície dos tubérculos, evitando-se assim, possíveis infecções por patógenos. Após a cura, os tubérculos de batata podem ser armazenados em baixas temperaturas, se necessário.

Durante o armazenamento, a batata sofre ação de diversos fatores do ambiente que podem parcial ou completamente destruir os tubérculos. Se o dano for parcial, os tubérculos são capazes de regenerar o tecido danificado e proteger a batata do ataque de microrganismos e perda de água pela cicatrização do tecido, devido à ocorrência de uma série de alterações bioquímicas e anatômicas nas células vizinhas, incluindo síntese de RNA e RNAase, suberização da superfície do corte, formação da periderme de dano após o início da suberização primária, formação de novas paredes celulares nas adjacentes à superfície do dano e a suberização das células da periderme ou suberização secundária.

A formação de um tecido especializado denominado periderme de dano é uma etapa do processo de cicatrização, resultando no desenvolvimento de uma camada permanente e protetora de células que substitui a “casca” que foi destruída pelo corte, a qual reduz infecções e perda de água. Esta formação depende do tipo de lesão: abrasões resultam na formação de periderme profunda e irregular; cortes promovem o surgimento de periderme tênue; enquanto que compressão e impactos podem prevenir completamente a formação de periderme (Cantwell & Kasmire, 2002)

A rápida formação da periderme é crítica para a resistência dos tubérculos aos patógenos pós-colheita, visto que a suberização da parede celular da periderme de dano constitui uma barreira eficiente em prevenir a infecção por microrganismos. O desenvolvimento desta começa logo após a suberização terminando dentro de uma a duas semanas. Idealmente, as batatas devem ser curadas por todo esse período, mas muitos produtores removem os tubérculos após quatro a sete dias. A periderme de dano apresenta similaridade à nativa, com formação de felema, felogênio e feloderme, sendo que diversos fatores influenciam seu surgimento:

- a) Temperatura - formação aumenta entre 2,5 a 25°C, não sendo formada com temperaturas acima de 35°C;
- b) Umidade - deve ser acima de 80%, sendo o ideal entre 90 e 95%;
- c) Aeração - concentração de O₂ deve ficar próxima a 21% e CO₂ em 0,03%;
- d) Nitrogênio - adubações excessivas com nitrogênio retardam a fixação da periderme;
- e) Morte da parte aérea- a formação da periderme é acelerada pela indução da morte.

Diversos estudos mostram que a indução da morte de plantas adultas, 2-3 semanas antes da colheita, por estresse hídrico, corte mecânicos das hastes ou por aplicação de herbicidas, promove a fixação da periderme, resultando em menor perda de água dos

tubérculos no armazenamento quando comparados com tubérculos cujas peridermes não estejam totalmente fixadas.

4. DORMÊNCIA

Dormência pode ser definida como período em que as gemas não brotam mesmo quando o tubérculo é colocado em condições ambientais favoráveis ao crescimento. A extensão do período de dormência, em batata, é determinado pela cultivar e outros fatores como, estágio de maturidade dos tubérculos na colheita, tamanho dos tubérculos, fotoperíodo durante o crescimento da planta, infecção por patógenos e condições de armazenamento. Exposição dos tubérculos a temperaturas extremamente baixas (3°C) promove aumento no período de dormência, enquanto que a temperatura ambiente reduz o período de repouso (Burton et al., 1992).

A dormência das gemas é controlada por inibidores de crescimento. Estes inibidores foram inicialmente denominados de inibidores ácidos e a ausência destes está relacionada com o término do período de repouso das gemas. Posteriormente, os inibidores presentes nas gemas foram denominados de complexo β -inibidor. Várias substâncias têm sido sugeridas como parte integrante do complexo β -inibidor entre as quais, cumarinas, ácido ferúlico, derivados do ácido cinâmico e ácido salicílico, contudo o inibidor ativo deste complexo parece ser o ácido abscísico. A aplicação exógena de ácido abscísico impede o crescimento das gemas em tubérculos

não dormentes (Hembert, 1985). A redução progressiva dos níveis do ácido abscísico ao longo do armazenamento está associada ao fim da dormência e início da brotação dos tubérculos.

O tratamento de tubérculos dormentes com giberelinas promove a quebra da dormência das gemas, parecendo, contudo, não existir correlação entre o aumento do conteúdo de giberelinas endógenas no tubérculo e o fim da dormência. Tal fato indica que outras substâncias podem estar envolvidas no controle do fim da dormência, como as citocininas ou mesmo redução da atividade do β -inibidor sobre as gemas.

Tubérculos pequenos ou crescidos sob condições de dia longo apresentam maior período de dormência quando comparados com tubérculos grandes ou crescidos sob influência de dias curtos. O período de dormência dos tubérculos também é função da cultivar, maturidade dos tubérculos na colheita e de outros fatores externos como temperatura, composição e umidade relativa do ar durante o armazenamento. Os clones de batata, mais comumente cultivados, em geral, apresentam períodos de dormência que variam de 5 a 20 semanas, quando armazenados a temperatura ambiente de 20-25°C. Tubérculos armazenados a 3°C, por período de 2-3 semanas, tem a dormência antecipada em 15-20 dias, quando, após o armazenamento, são postos em condições ideais para brotação (20°C e alta umidade relativa), chamado efeito do choque térmico. Temperaturas de armazenamento acima de 20-25°C tendem a reduzir o período de dormência, assim como a presença de alta umidade relativa. Normalmente, cultivares com curto, médio e longo períodos de dormência, armazenados a 18°C, iniciarão a brotação em 70, 90 e 120

dias após a colheita, respectivamente; entretanto, se armazenados a 28°C brotarão em 65, 80 e 90 dias, respectivamente (Beukema & Van der Zaag, 1991).

Diversos estudos têm mostrado que tubérculos infectados por microrganismos como *Phytophthora infestans*, *Fusarium*, viroses ou por insetos apresentam período de dormência consideravelmente menor quando comparado com o de tubérculos não infectados. Além disso, danos mecânicos, como cortes e abrasões estimulam a brotação das gemas dos tubérculos.

5. BROTAÇÃO

Quando a dormência termina, a temperatura de armazenamento determina a taxa de crescimento dos brotos. Quando armazenados em ambiente com 2 e 5°C, pelo período mínimo de duas a três semanas, seguido de transferência para o local com temperatura superior a 15°C, os tubérculos são estimulados a brotarem (Figura 1).

Normalmente, a dormência é quebrada espontaneamente após um período de maturação do tubérculo. Em condições ambientais favoráveis à brotação, os tubérculos tendem a desenvolver somente o broto apical, que se torna dominante sobre os demais; somente após um período de tempo a dominância apical é quebrada.

O tubérculo iniciando a brotação passa por três estádios fisiológicos. O primeiro é conhecido como tubérculo fisiologicamente jovem, fase de dominância apical, quando apenas o broto do ápice

se desenvolve. O segundo, chamado de estágio normal, quando há crescimento de diversos brotos até a ramificação dos brotos mais velhos. Finalmente, o estágio fisiológico velho, quando há o aparecimento de pequenos tubérculos na base dos brotos.

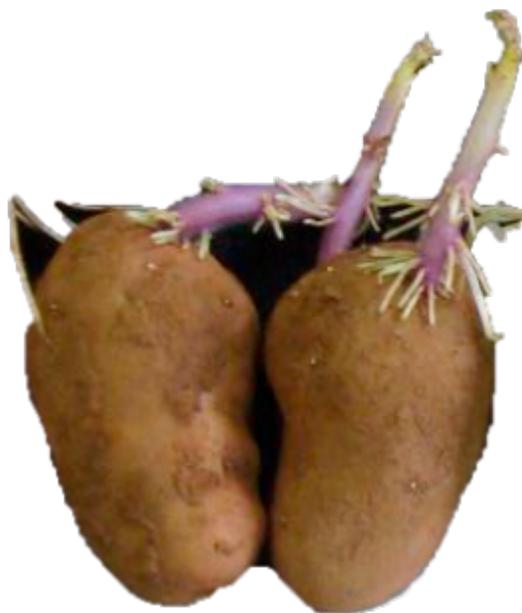


Figura 1 - Brotação em tubérculo de batata

A perda de dominância apical, o vigor da brotação, e o potencial para o crescimento de raízes acompanhando o envelhecimento do tubérculo parecem estar relacionados à redução na sua capacidade de sintetizar auxina. Adicionalmente, há diversos trabalhos mostrando que o transporte de auxina é dependente da movimentação acrópeta do cálcio. É frequente observar, em tubérculos armazenados em

temperaturas maiores do que 25°C, no escuro, o aparecimento de necrose no ápice dos brotos, provavelmente em consequência da dificuldade deste em mobilizar cálcio para estas regiões. Os tubérculos armazenados no escuro desenvolvem brotos longos, brancos e mais finos e aqueles armazenados à luz, os quais são curtos, grossos e verdes (clorofila).

Durante o crescimento dos brotos ocorre aumento da respiração para suprir as necessidades energéticas, o que resulta na degradação de reservas, translocação de carboidratos, perda de água por transpiração e perda de massa fresca dos tubérculos.

6. RESPIRAÇÃO

A respiração é considerada como o processo que mantém a célula viva através da produção de compostos orgânicos altamente energéticos como ATP. Além disso, a respiração proporciona a formação de diversos compostos orgânicos intermediários os quais são usados em várias reações de síntese que ocorrem nas células. Em tubérculos de batata, os principais substratos utilizados na respiração são os carboidratos provenientes da hidrólise dos grãos de amido armazenados nos amiloplastos. A taxa respiratória dos tecidos e órgãos vegetais é mais comumente expressa como a quantidade de CO_2 liberada por uma determinada quantidade de matéria por tempo. Assim, a taxa respiratória é expressa em miligramas ou mililitros de CO_2 /kg de matéria fresca/h. A taxa respiratória de tubérculos de batata, em estado de dormência, é considerada baixa quando comparada com aquelas observadas em outras hortaliças (Tabela 1).

Tabela 1 - Taxa respiratória de algumas hortaliças na temperatura de 20°C.

| Produto | Taxa Respiratória |
|----------------|--------------------------|
| | (mg CO_2 /kg/h) |
| Cenoura | 33 |
| Alface | 80 |
| Ervilha | 250 |
| Couve-Flor | 126 |
| Pimentão | 35 |
| Brócoli | 425 |
| Batata | 6 |

FONTE: Robinson *et al.* (1975).

A taxa respiratória pode ser usada como índice para se determinar a qualidade dos tubérculos de batata após sua colheita. A respiração apresenta-se mais alta logo após a colheita dos tubérculos, especialmente naqueles imaturos. Nestes, as taxas respiratórias são cerca de três vezes superiores àquelas observadas em tubérculos colhidos após a senescência das plantas.

Diversos outros fatores podem afetar o metabolismo respiratório dos tubérculos durante o armazenamento, como alterações bruscas de temperatura e injúrias mecânicas que induzem aumentos temporários na respiração. Tubérculos armazenados a 20°C apresentam taxas respiratórias 50% superiores àquelas observadas a 10°C, contudo, o efeito da temperatura sobre o metabolismo respiratório da batata é reduzido quando comparado ao seu efeito em produtos como cenoura, alface e couve-flor.

A temperatura também afeta o equilíbrio dinâmico reversível do balanço amido/açúcar em batata. Temperaturas de armazenamento inferiores a 10°C favorecem o acúmulo de açúcares solúveis, em detrimento do acúmulo de amido durante o armazenamento. Contudo, o equilíbrio pode ser restaurado ao se armazenar os tubérculos em temperaturas de 15-20°C, pelo período de uma semana. Em batata, o acúmulo de açúcares solúveis é indesejável, pois causa o escurecimento dos produtos durante a fritura, devido à caramelização e reações entre aminoácidos e açúcares. Diversos estudos demonstram que o escurecimento deve-se principalmente ao acúmulo de glicose nos tubérculos, quando a concentração atinge valores acima de 1,2 mg/g de matéria fresca. (Pritchard & Adam, 1994).

7. TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO

O armazenamento dos tubérculos sob temperatura adequada pode controlar a dormência e a brotação precoce de tubérculos-semente, evitando o esgotamento de reservas necessárias à emergência das plântulas (Finger & Fontes, 1999), reduzindo as perdas pós-colheita. A baixa atividade metabólica dos tubérculos durante a dormência favorece a manutenção da massa fresca e reduz a ocorrência de podridões. Bisognin et al. (2008) verificaram em clones de Asterix, SMIJ461-1 e SMINIA 793101-3, a ocorrência de podridões durante o armazenamento nos tubérculos armazenados a 25°C.

A temperatura também afeta o equilíbrio dinâmico reversível do balanço amido/açúcar em batata. Temperaturas de armazenamento inferiores a 8°C favorecem o acúmulo de açúcares solúveis redutores (glicose e frutose) em detrimento do acúmulo de amido. Contudo, o equilíbrio pode ser restaurado ao se armazenar os tubérculos em temperaturas de 15-20°C, pelo período de uma semana. Em batata, o acúmulo de açúcares solúveis é indesejável, pois causa o escurecimento dos produtos durante a fritura, devido a caramelização e reações entre aminoácidos livres e os açúcares redutores (reação de Maillard). Diversos estudos demonstram que o escurecimento deve-se principalmente ao acúmulo de glicose nos tubérculos, quando a concentração atinge valores acima de 1,2 mg/g de matéria fresca (Pritchard & Adam, 1994).

O acúmulo de açúcares durante o adoçamento, está associado, principalmente, com aumentos nos teores de hexoses (Hill et al., 1996)

e de hexoses fosfato (Trevanion & Kruger, 1991), e com aumentos na atividade de enzimas envolvidas na síntese de sacarose, bem como com o aumento na atividade da invertase ácida vacuolar.

8. DISTÚRBIOS NOS TUBÉRCULOS

8.1. ESVERDEAMENTO

O esverdeamento é caracterizado pelo aparecimento de cor verde sob a casca do tubérculo, induzida pela presença de luz (Figura 2). Os grãos de amido, componentes principais do tubérculo, são sintetizados dentro de plastídeos especializados, os amiloplastos (Peterson et al., 1985), e estes, quando expostos a luz transformam-se em cloroplastos, ocorrendo a síntese e o acúmulo de clorofila, e, conseqüentemente o esverdeamento do tubérculo (Arce, 1996). O pigmento predominante é a clorofila, contudo durante o processo de esverdeamento há também a indução pela luz da síntese de solanina e outros glicoalcalóides tóxicos ao homem. Estes glicoalcalóides são resistentes ao calor, não sofrendo degradação completa durante o processo de cozimento, conferindo sabor amargo aos tubérculos (Brune & Melo, 2001). Estudos mostram que o conteúdo máximo de glicoalcalóides presentes nos tubérculos não deve ser superior a 20 mg/100 g de matéria fresca. Intensidade de luz relativamente baixas, como 3 a 11 w/m₂ por um período de 24 horas, são suficientes para induzir a formação de clorofila. O esverdeamento é mais intenso em

temperaturas superiores a 15°C e o processo pode ocorrer tanto no campo como durante o armazenamento dos tubérculos.



Figura 2 - Tubérculos de batata apresentando coloração verde induzida pela luz pelo afloramento dos tubérculos antes da colheita.

A síntese de glicoalcalóides pelos tubérculos independe da indução da síntese de clorofila, contudo o acúmulo de glicoalcalóides é dependente das condições de crescimento e de armazenamento dos tubérculos, danos mecânicos, exposição a luz e da cultivar. A indução da síntese de glicoalcalóides faz parte do mecanismo de defesa da planta e de tubérculos ao ataque de doenças e pragas. A exposição de tubérculos das cultivares Achat, Bintje, Baraka e Chiquita, à luz direta por 15 dias, induziu acúmulos médios de glicoalcalóides de cerca 2 e 56 mg/100 g de matéria fresca de polpa e casca, respectivamente, (Morales *et al.*, 1988).

O esverdeamento sob luz artificial é mais intenso que em condições naturais e depende também da cultivar, sendo Achat susceptível e Bintje e Monalisa tolerantes após exposição em luz artificial por 15 dias (Melo & Henz, 1995).

O controle do esverdeamento no campo é feito através da amontoa, enquanto que durante o armazenamento deve-se evitar a incidência de luz direta ou indireta sobre os tubérculos, bem como evitar a lavagem destes.

8.2. RACHADURA

Rachaduras correspondem a fendas longitudinais na superfície dos tubérculos, de profundidade e extensão variadas, causadas por crescimento excessivo. Elas podem ser devidas a diferentes fatores endógenos ou do meio, entre os quais, a pressão interna do tubérculo, a infecção por vírus, danos mecânicos durante ou após a colheita, falta e excesso de água, bem como temperatura. Temperaturas mais elevadas observadas na época “das águas” prejudica a qualidade dos tubérculos, caracterizada pelo teor de matéria seca e incidência de defeitos fisiológicos (Menezes et al., 1999).

Este tipo de desordem pode estar associada ao crescimento dessincronizado entre tecidos internos e externos do tubérculo devido à disponibilidade irregular de umidade no solo na fase de enchimento do tubérculo e fornecimento de água rápido e desuniforme. Além disso, podem ser causadas pelo efeito residual de herbicidas da classe das sulfonil-uréias.

Rachaduras por pressão interna ocorrem durante o crescimento dos tubérculos, sendo mais comuns nas cultivares de tubérculos compridos; contudo, na maioria dos casos, as rachaduras são em parte cicatrizadas pela formação de nova casca. Espaçamentos maiores, no campo, contribuem para o aparecimento de rachaduras nas cultivares susceptíveis. Além disso, teores baixos de boro parecem aumentar a incidência de rachaduras durante o crescimento dos tubérculos.

8.3. CORAÇÃO OCO

Coração oco da batata é um termo genérico para designar cavidades presentes no centro dos tubérculos. Contudo, podem ser encontradas cavidades próximas a gema apical do tubérculo. Camadas de suberina podem ser formadas nas paredes das cavidades, causando o aparecimento de cor marrom escura. O sintoma de coração oco aparece, mais comumente, em tubérculos grandes e, de cultivares susceptíveis. Não são conhecidas as causas primárias do aparecimento do coração oco, porém sabe-se que o crescimento rápido excessivo dos tubérculos está associado a maior incidência do distúrbio. O crescimento dos tubérculos observado após estresse hídrico, bem como excesso de nitrogênio favorecem a formação de coração oco. A prática cultural mais efetiva para a redução do distúrbio está associada ao aumento da densidade de plantio, assim como evitar oscilações acentuadas nos níveis de umidade do solo durante a fase de crescimento dos tubérculos.

8.4. CORAÇÃO NEGRO

O aparecimento do sintoma de escurecimento interno do tubérculo deve-se a deficiência de O_2 durante o armazenamento, devido à aeração inadequada no armazém. Este distúrbio fisiológico, geralmente, está associado a pós-colheita dos tubérculos, no entanto pode aparecer durante o crescimento ou próximo à colheita. Assim, qualquer condição que favorecer a redução da quantidade de O_2 disponível no ambiente poderá resultar no aparecimento de coração negro. Tem sido observado que o status hídrico do solo e altas temperaturas antes da colheita aumentam a incidência do sintoma. O controle do distúrbio é feito pelo cultivo em solos com boa drenagem e armazenamento do produto em local ventilado e com temperaturas inferiores a 35°C . Em temperaturas extremas, abaixo de 0°C ou acima de 35°C , ainda que haja presença de oxigênio pode ocorrer a formação do coração negro, devido à dificuldade de uma rápida difusão do oxigênio através dos tecidos.

8.5. CRESCIMENTO SECUNDÁRIO

Crescimento secundário é um distúrbio fisiológico que resulta em deformações do tubérculo. Este distúrbio é também conhecido por “embonecamento” e seu aparecimento deve-se à períodos de estresses de água ou temperatura, seguidos por períodos de crescimento do tubérculo, quando a condição de estresses não mais persiste. A ocorrência de seca durante a formação e enchimento

do tubérculo vai ocasionar batatas de tamanho pequeno e de baixa qualidade, sendo que chuvas esparsas durante este período promoverão o embonecamento da batata, que deprecia o valor de venda do produto.

Disponibilidade irregular de nutrientes no solo, temperaturas extremas e desfolha da planta seguida de regeneração do sistema foliar, também podem estar associadas ao aparecimento de crescimento secundário (Benites, 2007). Períodos curtos de severa deficiência de água aumentam a incidência de crescimento secundário quando comparado à incidência em plantas submetidas a contínua e moderada falta de água.

O crescimento secundário dos tubérculos pode ser observado ao se expor as plantas à flutuações de temperaturas. Altas temperaturas promovem o crescimento dos estolões, hastes e folhas em detrimento do crescimento do tubérculo. Contudo, ao reduzir-se a temperatura há novamente condições ideais para o tubérculo crescer e sintetizar amido.

Assim, esta é uma importante e severa desuniformidade que ocorre durante o desenvolvimento, podendo gerar formas com extremos pronunciamentos, curvaturas, protuberâncias e pontas que afetam a aparência e a qualidade.

O controle do crescimento secundário dos tubérculos pode ser realizado pela irrigação apropriada, stand uniforme de plantas e evitar excesso de nitrogênio na adubação.



Figura 3 – Crescimento secundário.

8.6 MANCHA CHOCOLATE

Mancha ferruginosa interna ou chocolate caracteriza-se pela presença de manchas pardo-avermelhadas irregularmente distribuídas pela polpa, mas concentradas nas proximidades da gema apical. Pode ser promovida por oscilações entre período chuvoso seguido de seca prolongada, sendo de ocorrência mais frequente em períodos secos (deficiência de umidade) e quentes (temperaturas elevadas).

8.7 LENTICELOSE

Lenticelose surge nas raízes, base das ramas e tubérculos produzidos em solos muito úmidos ou arenosos com drenagem deficientes apresentam a lenticelose, que consiste no desenvolvimento anormal das lenticelas, originando pequenas pontuações esbranquiçadas e salientes no tecido superficial do tubérculo. Este distúrbio pode ser provocado por uma reação dos tecidos para compensar a baixa disponibilidade de oxigênio, visto que as lenticelas são estruturas de respiração. Contudo, a lenticelose, favorece a entrada de microrganismos fitopatogênicos nos tubérculos.

8.8. TUBERIZAÇÃO DIRETA

A tuberização direta ocorre em gemas apicais devido ao plantio de tubérculo semente fisiologicamente velho, sob condições de temperatura baixa e alta umidade do solo.

8.9. OUTROS

Podridão: Processo de decomposição, desintegração e fermentação dos tecidos causados por pragas, doenças ou por causas fisiológicas, compreendendo as podridões secas e úmidas, com os tecidos apresentando necrose de aspecto desidratado e mumificado, aquoso e com odor fétido, respectivamente.

Uma das principais doenças que afetam os tubérculos de batata ao longo do armazenamento é a podridão seca. Estima-se que as perdas associadas a esta doença podem variar em 6 a 25%, podendo atingir 60% em armazenamento a longo prazo (Kim et al., 1995; Secor & Salas, 2001; Desjardins, 2006). Batatas tratadas com o 1,4-dimetilnaftaleno (1,4-DMN), para inibição de brotos, apresentaram menor ocorrência de podridões. Um estudo recente mostrou que a fumigação de 1,4-DMN em tubérculos de batatas 'Challenger' e 'Markies' reduziu o desenvolvimento da podridão seca através de um efeito fungistático direto no crescimento do *Fusarium* spp., assim como, ativando as respostas de defesa da batata (Silva, 2020).

Brotação: Tubérculos com alongação dos pontos de crescimento devido à exposição em locais quentes e úmidos. Brotos de no máximo 1mm de comprimento é considerado defeito leve. Acima desse valor passa a ser considerado defeito grave. Assim, não são aceitos pelo consumidor, uma vez que possuem menor durabilidade e qualidade nutritiva.

Vitrificação: Anomalia caracterizada pela polpa fibrosa e cristalizada, de causas desconhecidas. Acredita-se que está relacionada à transformação do amido em açúcares simples.

Esfolamento ou batata mal - descascadas: Tubérculos apresentando exposição dos tecidos internos, devido à manipulação desses após colheita precoce. Este distúrbio é geralmente verificado em tubérculos túrgidos, devido à alta umidade do solo, caracterizado por película mal formada ou sem cura adequada que solta-se com facilidade e escurece durante a comercialização.

Queimadura: lesão causada no tubérculo devido à incidência dos raios solares durante o crescimento e desenvolvimento no campo. Considera-se defeito quando a lesão superar 5% da superfície do tubérculo, não atingindo a polpa em mais de 3 mm de profundidade.

9. PERDAS PÓS-COLHEITA

Após o arranquio dos tubérculos no campo, a quantidade total de produto disponível é reduzida até chegar ao consumidor. Assim, após a batata ser arrancada do solo ocorrem perdas na colheita (“tiguerras”), no processamento, no transporte, no atacado, no varejo e, finalmente, ao descascar-se os tubérculos.

As perdas no processamento foram discutidas anteriormente. Já as perdas no varejo/atacado são de difícil quantificação; entretanto, são referenciadas, nas Tabelas 2 e 3. Com certeza, as perdas nestas fases estão ligadas a um ou mais fatores enumerados a seguir: época do ano, processo de beneficiamento, ponto inadequado de colheita, não realização da cura, tubérculos danificados, falta de mercado para comercialização, manuseio inapropriado, incidência de luz direta nos tubérculos por período prolongado, patógenos, temperaturas excessivamente altas no armazém, pilhas altas de sacos no armazém, embalagens e transporte inadequados. A combinação adequada dos fatores acima citados poderia reduzir as perdas pós-colheita da batata. Enfatiza-se, porém, que os cuidados para diminuir as perdas pós-colheita devem começar antes de se arrancar os tubérculos, iniciando-se corretamente o processo, “práticas culturais - colheita

- cura - classificação - embalagem - atacado/varejo - consumidor”, o qual deve ser entendido como um sistema único.

Tabela 2 - Porcentagens de perdas em relação ao volume comercializado de batata, em diferentes equipamentos e cidades brasileiras.

| EQUIPAMENTOS | SÃO PAULO | FLORIANÓPOLIS |
|---------------------|------------------|----------------------|
| Supermercado | 16 | 1 |
| Feira livre | 11 | 7 |
| Quitanda | 13 | 4 |

FONTE: Fundação João Pinheiro, 1992.

Tabela 3 - Estimativas dos percentuais de perdas pós-colheita de tubérculos de batata nos varejos de Viçosa, Belo Horizonte e Juiz de Fora.

| PRODUTO | PERÍODO | VIÇOSA | BELO HORIZONTE | | JUÍZ DE FORA |
|---------------|---------|--------|-------------------------|----------|--------------|
| | | | QUITANDAS E MERCENARIAS | SACOLÕES | |
| Batata comum | seca | 14 | - | - | 6 |
| | chuva | 13 | - | - | 18 |
| Batata lavada | seca | 21 | 18 | 20 | - |
| | chuva | 19 | 40 | 27 | - |

FONTTE: Fundação João Pinheiro, 1992.

Estudos mostram que a incidência de perdas ocorridas durante o processo de venda da batata (produtor/atacadista/varejista/consumidor), resulta em transferência da renda dos produtores para os intermediários e, provavelmente, consumidores. Reduções nas perdas pós-colheita da batata envolvem uma série de medidas como:

- a) Manejo cultural adequado, enquanto no campo;
- b) Colher os tubérculos após a senescência das plantas;
- c) Eliminar os tubérculos com danos mecânicos ou sintomas de contaminação por patógenos;
- d) Não ensacar tubérculos molhados ou mesmo úmidos;
- e) Armazenar os tubérculos para consumo em local ventilado, em pilhas de no máximo 5 sacos e sem incidência de luz;
- f) Proceder à cura dos tubérculos antes do armazenamento refrigerado.

10. REFERÊNCIAS

- ARCE FA. 1996. *El cultivo de la patata*. Madrid: Mundi Prensa. 272p.
- BENITES FRG. 2007. Seleção recorrente em batata visando tolerância ao calor. Lavras: UFLA. 90p. (Tese doutorado).
- BEUKEMA MP & VAN DER ZAAG DE. 1991. *Introduction to potato production*. Wageningen: Pudoc. 208p.
- BISOGNIN DA; FREITAS ST; BRACKMANN A; ANDRIOLO JLA; PEREIRA EIP; MULLER DR; BANDINELLI MG. 2008. Envelhecimento fisiológico de tubérculos de batata produzidos durante o outono e a primavera e armazenados em diferentes temperaturas. *Bragantia* 67(1): 59-65.
- BRUNE S; MELO PE. 2001. *Método rápido de avaliação do esverdeamento em tubérculos de batata*. Pesquisa Agropecuária Brasileira 36(5): 809-814.
- BURTON WG; VAN ES; HARTMANS KJ. 1992. The physics and physiology of storage. In: HARRIS P. (eds). *The potato crop*. London: Chapman e Hall. p. 608-727.
- CANTWELL MI; KASMIRE RF. 2002. Postharvest handling systems: fruit vegetables. In: KADER, A. (eds). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3: 407-421.
- DESJARDINS AE. 2006. *Fusarium Mycotoxins, Chemistry, Genetics, and Biology*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- EVANGELISTA RM; NARDIN I; FERNANDES, AM; SORATTO, RP. 2011. Qualidade nutricional e esverdeamento pós-colheita de tubérculos de cultivares de batata. *Pesquisa agropecuária brasileira* 46(8): 953-960.

EWING E. 1997. Potato. In: WIEN HC. (ed) *The physiology of vegetable crops.*, Wallingford: CAB International. p. 295-344.

FINGER FL; FONTES PCR. 1999. Manejo pós-colheita da batata. *Informe agropecuário.* 20(197). p-105-111.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. 1992. *Avaliação de perdas de produtos agrícolas em MG. Centro de Estudos Econômicos. Belo Horizonte.* 122p.

HEMBERT T. 1985. *Potato rest.* In: LI, P. H. (ed). *Potato physiology.* Orlando. Academic Press. p. 353-388.

HIDE CA; BOOKER KJ; HALL SM. 1994. *Effects of watering potato plants before harvest and of curing conditions on development of tuber diseases during storage.* Potato Research. 37:169-72.

KIM JC; LEE YW; Yu SH. 1995. *Sambutoxin-producing isolates of Fusarium species and occurrence of sambutoxin in rotten potato tubers.* Appl. Environ. Microb. 61, 3750– 3751.

MELO PE; HENZ GP. 1995. *Esverdeamento de tubérculos de clones experimentais de batata, série BAT.* Horticultura Brasileira. 13(1) p.95.

MENEZES CB; PINTO CAPB; NURMBERG PL; LAMBERT ES. 1999. *Avaliação de genótipos de batata (Solanum tuberosum L.) nas safras “das águas” e de inverno no sul de Minas Gerais.* Ciência e Agrotecnologia. 23(4): 776-783.

MORALES WRJ; ARAÚJO JMA; FONTES PCR. 1988. *Efeitos do armazenamento, da luz e da fritura nos glicoalcalóides de batata.* Horticultura Brasileira. 6(1):6-8.

PETERSON RL; BARKER WG; HOWARTH MJ. 1985. Development and structure of tubers. In: LI, P. H. (ed). *Potato physiology.* Orlando. Academic Press :123-152.

PRITCHARD MK; ADAM LR. 1994. Relationships between fry color and sugar concentration in stored Russet Burbank and Shepody potatoes. *American Potato Journal*, 71(1):59-68.

ROBINSON JE; BROWNE KM, BURTON WG. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Annual Applied Biology*. 1:399-408.

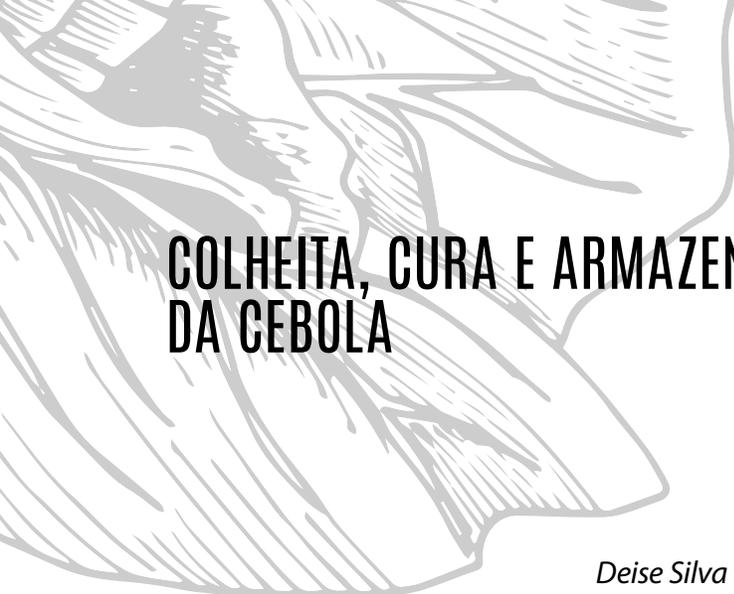
SECOR GA; SALAS B. 2001. Fusarium dry rot and Fusarium wilt. In: Stevenson WR, Loria R, Franc GD, Weingartner DP (eds) *Compendium of potato diseases*, 2nd edn. APS Press, St. Paul.

SILVA MA. 2020. Dry rot disease of potato (*Solanum tuberosum*) in Brazil: an update on taxonomy of the phytopathogenic fusarium spp. and potential management strategies Viçosa: UFV. 98p. (Tese doutorado).

TREVANION SJ; KRUGER NJ. 1991. Effect of temperature on the kinetic properties of pyrophosphate: fructose 6-phosphate phosphotransferase from potato tuber. *Journal of Plant Physiology*. 137: 753-759.



CAPÍTULO 11



COLHEITA, CURA E ARMAZENAMENTO DA CEBOLA

*Ana Paula Sato Ferreira
Cristina Soares de Souza
Deise Silva Castro Pimentel Cardoso
Elizanilda Ramalho do Rêgo
Fernando Luiz Finger*

1. INTRODUÇÃO

A cebola é a terceira hortaliça em volume produzida no planeta após tomate e repolho. Sua produção média em 2007 foi em torno de 64.475 mil toneladas de bulbos (FAO, 2010). No Brasil, a cebola ocupa o terceiro lugar em importância comercial e econômica (Souza & Resende, 2002). A planta adapta-se ao cultivo em variadas condições climáticas, desde regiões subárticas da Europa, e na maioria das regiões tropicais e temperadas do globo. A boa capacidade de armazenamento dos bulbos permite o comércio internacional de volumes expressivos de cebola em estado *in natura*, principalmente para países altamente industrializados da Europa, países exportadores de petróleo do Oriente Médio e aqueles localizados em regiões tropicais excessivamente úmidas (Brewster, 1994).

Do mesmo modo que na maioria das hortaliças, a qualidade da cebola está intimamente ligada à aparência externa, ao tamanho do bulbo, cor, aroma, sabor, firmeza e composição química. Tais atributos são determinados em parte pelo genótipo, por tratamentos culturais na pré-colheita, pela época adequada de colheita e por tratamentos pós-colheita, os quais visam principalmente garantir a integridade física e manutenção da qualidade química dos bulbos. Sabendo-se que os bulbos são organismos vivos, após a colheita haverá contínua influência do ambiente sobre a fisiologia da cebola. Os fatores do ambiente que induzem alterações na fisiologia do bulbo são a temperatura, umidade, composição da atmosfera de armazenamento, ataque por microrganismos ou insetos e, principalmente, o nível de injúria mecânica a que foram submetidos os bulbos ao longo do processo de comercialização.

A diminuição da qualidade e quantidade de cebola após a colheita se dá pela perda excessiva de água, redução da quantidade de carboidratos pela respiração, enraizamento, brotação, perda física do produto por ataque de pragas, e finalmente, por danos mecânicos. Este capítulo aborda a influência dos diversos fatores do ambiente pré e pós-colheita, fator genético e os tratamentos pós-colheita que determinam o potencial de armazenamento dos bulbos de cebola.



2. MATURAÇÃO E COLHEITA DO BULBO

A interação do potencial de produção do genótipo com os fatores do meio, tais como o suprimento regular de água, nutrição mineral, partição de fotoassimilados, temperatura, radiação, comprimento do dia, espaçamento, competição com plantas daninhas, presença de doenças e pragas, e práticas agronômicas culturais é que determinam a taxa de crescimento dos bulbos. No início da bulbificação, o conteúdo de matéria seca do bulbo tem estreita correlação com a concentração de sólidos solúveis, em especial com o acúmulo de açúcares solúveis denominados de frutanas, no entanto, a duração do período de acúmulo de matéria é afetada principalmente pelo genótipo, comprimento do dia e temperatura. Durante a fase de crescimento dos bulbos há rápido desenvolvimento e maturação antecipada em genótipos precoces ou em condições de dias longos, em comparação com genótipos mais tardios ou presença de dias mais curtos (Mettananda & Fordham, 1997; Kahane et al., 2001).

As condições e técnicas de colheita e pós-colheita têm influência decisiva na conservação da cebola (Miranda et al., 1996). Segundo Rubatzky & Yamaguchi (1997) o estágio de desenvolvimento ou maturação da planta na colheita afeta diretamente o tamanho, e, possivelmente, a qualidade e o potencial de armazenamento dos bulbos. Tradicionalmente a colheita da cebola é realizada quando as plantas estão estaladas (tombadas) ou com o colo (pescoço) completamente amolecido (Souza et al., 2010). Esse aspecto da morfologia da planta tem sido utilizado como índice prático na

colheita dos bulbos, porém existem variações entre os diferentes genótipos quanto à velocidade, uniformidade e porcentagem mínima de plantas tombadas no solo para iniciar a colheita (Finger et al., 2006).

A época de colheita influencia fortemente o rendimento e o tempo de armazenamento da cebola. Diversos autores recomendam que os bulbos devam ser colhidos quando o campo apresenta entre 50 e 80% do total das plantas com o pescoço amolecido e a folhagem iniciando a tombar sobre o solo (Komochi, 1990; Brewster, 1994; Wall & Corgan, 1994). Sargent et al. (2001) observaram que a antecipação da colheita pode resultar na obtenção de bulbos menores, menor acúmulo de matéria seca, aumento da perda de matéria fresca e estímulo à brotação precoce no armazém. Os mesmos autores observaram que nos bulbos colhidos antecipadamente a respiração foi superior aos bulbos colhidos mais tardiamente, ou seja, daqueles bulbos colhidos com mais de 20-25% de plantas estaladas. Além disso, em cebolas colhidas antecipadamente (considerada imatura ou verde), há menor teor de sólidos solúveis, acarretando perda de algumas propriedades.

De acordo com Gubb & Mactavish (2002), os maiores rendimentos são obtidos quando as plantas permanecem intactas até as folhas estarem completamente secas. A remoção total da parte aérea (pseudocaule) da cultivar Baia Periforme, três semanas antes da maturação das plantas, reduziu o tamanho médio dos bulbos e antecipou a brotação no armazenamento, indicando, portanto a necessidade de manter as folhas até próximo ao estalo das plantas (Vieira, 1980).

Kepka & Sypien (1991) afirmam que o atraso da colheita acarreta queda da qualidade dos bulbos, exercendo significativo efeito sobre a produção comercializável. Além disso, quando a cebola permanece por muito tempo no campo, o colo ou “pescoço” do bulbo fica sujeito a queimaduras de sol e as películas superficiais podem se soltar, aumentando assim a incidência de doenças (Fontes, 1999; Bottcher, 1999).

Müller et al. (1993a) avaliaram a influência do estalo e do tempo de cura artificial sobre a deterioração por microrganismos durante o armazenamento da cebola cv. Baia Periforme, obtida por meio do cultivo de bulbinhos, durante o armazenamento em condições de temperatura ambiente (Tabela 1).

Tabela 1 - Efeito da maturação e período de cura artificial sobre a porcentagem de bulbos deteriorados aos 60 dias de armazenamento da cebola cv. Baia Periforme obtida do cultivo de bulbinho.

| Maturação do bulbo | Período de cura artificial (horas) | | | |
|--------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|
| | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| Com estalo | 26,51 a | 22,85 a | 29,65 a | 24,32 a |
| Sem estalo | 16,13 b | 18,48 b | 17,46 b | 22,99 a |

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Cura dos bulbos a 55oC em secador de camada fina e ventilador com fluxo de 7 m³ min⁻¹ t⁻¹. Fonte: Müller et al. (1993a).

A colheita da cebola após o estalo aumentou significativamente a deterioração dos bulbos em todos os tempos de cura, exceto nos curados por 4,0 horas (Tabela 1). Portanto, a antecipação da colheita teve efeitos positivos em reduzir a contaminação por microrganismos no armazenamento. Esse mesmo comportamento foi observado em um campo com cebolas precoces, produzido a partir de sementes botânicas, em que a cebola colhida com 20% de plantas estaladas teve menor deterioração quando comparada com as colheitas subsequentes, ou seja, com mais de 80% de plantas estaladas (Wall & Corgan, 1994). Estes dados mostram que a permanência prolongada dos bulbos no campo, após ter ocorrido o estalo, multiplica as chances de contaminação por microrganismos causadores da deterioração pós-colheita, em especial por podridões de *Botrytis* spp., *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, *Erwinia* spp. e *Pseudomonas* spp. No entanto, a colheita antecipada dos bulbos antes do estalo da planta, em um campo de bulbinho com 50% das plantas estaladas duplicou a porcentagem de bulbos brotados no armazenamento em condições ambiente, porém reduziu levemente a porcentagem de bulbos enraizados, independente do tempo de cura artificial utilizado (Müller et al., 1993b).

3. CURA

Após a colheita, realiza-se a cura artificial ou a campo, cuja finalidade é proporcionar a perda de umidade das ramas e secagem das películas externas dos bulbos, alcançando coloração externa

atrativa e redução da intensidade de podridões (Ferreira, 2000). As películas externas definem a aparência dos bulbos, influenciam a perda excessiva de água para o ambiente e dificultam a infecção dos bulbos por microrganismos patogênicos durante o armazenamento (Soares *et al.*, 2004).

A cura, então, corresponde à fase de redução acentuada da umidade das raízes, casca e pescoço imediatamente após a colheita dos bulbos. Esta redução de umidade permite o desenvolvimento da cor da casca característica de cada genótipo, pela produção de compostos orgânicos que acentuam o aroma.

Nas regiões secas do Brasil é comum se empregar a chamada cura de campo, na qual a secagem das ramas é feita deixando-se a cebola colhida por cerca de 3 dias no campo, até redução acentuada da umidade das folhas. Na cura de campo deve haver a preocupação de proteger os bulbos da insolação direta, tendo-se cuidado de cobrir os bulbos com a parte aérea das plantas, para que a ocorrência de manchas esbranquiçadas de queimadura solar não cause perdas elevadas (Luengo & Calbo, 2001).

Uma vez terminada a cura de campo, realiza-se o corte da parte aérea 2-3 cm acima do pescoço e das raízes rente ao prato do bulbo. Após, a cebola é colocada em local sombreado, com temperatura de 25-30°C e umidade relativa de 70-75% para finalizar a cura em cerca de 10-15 dias (Brewster, 1994).

Bulbos com aparência de charuto (pescoço grosso) resultam da incompleta diferenciação da bainha da folha em escamas de armazenamento de carboidratos (Tucker, 1989). Nestas cebolas há dificuldade da cura ser completada devido ao excessivo

engrossamento do pescoço que dificulta a secagem e fechamento do bulbo. Além disso, estas cebolas brotam antecipadamente quando armazenadas, devendo portanto, serem separadas daquelas cebolas com bulbos normais.

Quando as condições de umidade e de temperatura não são favoráveis à desidratação da casca e pescoço dos bulbos, a cura artificial da cebola pode ser uma alternativa à cura de campo e de sombra tradicionais. No entanto, a informação na bibliografia consultada a respeito da cura artificial em cebola é escassa.

Na Inglaterra e Holanda os bulbos são curados em salas de secamento, onde a cebola é colocada em pilhas de 3,4-4 m de altura, com insuflação de ar (fluxo de $425 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ t}^{-1}$), com temperatura entre 25-30°C e umidade relativa de 25-35% para remover rapidamente a umidade superficial, seguido de continuada passagem de ar pelos bulbos visando manter a temperatura entre 25-30°C e umidade de 70-75%, simulando as condições de cura natural (Brewster, 1994). A cura artificial a 55°C por 2,5-4,0 horas (Tabela 1) não influenciou a retenção das películas externas dos bulbos colhidos sem o estalo da planta, porém naqueles bulbos colhidos após o estalo, períodos de cura de 3,5 e 4,0 horas resultaram em menor retenção das películas, aumentando a incidência de rachaduras (Müller *et al.*, 1993c).

Estudos futuros com cura artificial devem ser observadas as interações entre as condições de temperatura e tempo utilizado na cura, o ponto de colheita, qualidade inicial do produto e características varietais da cebola.

4. RESPIRAÇÃO

A respiração é responsável pela oxidação de substâncias orgânicas, como o amido, açúcares e ácidos orgânicos em CO_2 e H_2O , resultando na produção de energia e outras substâncias que são geralmente utilizadas nas reações de síntese das células. A denominada respiração vital dos tecidos é essencial na manutenção da organização celular, integridade das membranas das células vivas e suprimento de ATP. Da oxidação completa de uma hexose (glicose ou frutose), somente 42% do total da energia produzida é armazenada na forma de ATP e o restante é dissipado na forma de calor (Kader, 1987). A taxa respiratória em produtos hortícolas é geralmente expressa em mg ou ml de CO_2 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ e a intensidade varia com a espécie e fatores do ambiente. A cebola apresenta taxa de respiração muito baixa quando comparada com outras hortaliças, sendo que a taxa é função do estágio de maturação do bulbo colhido, do envelhecimento e integridade física durante o armazenamento, e da temperatura. Alguns dados da bibliografia consultada mostram a relação entre a atividade respiratória e a temperatura de armazenamento em bulbos de cebola (Tabela 2). A elevação da temperatura entre 0-20°C alterou a taxa respiratória de maneira diferenciada dependendo da faixa de temperatura em que a cebola foi armazenada. A respiração na maioria dos produtos hortícolas é governada pelo fator Q_{-10} , onde a elevação da temperatura ambiente em 10°C aumenta a liberação de CO_2 em duas a três vezes, se armazenados entre 0-40°C. A respiração da cebola aumenta 2,8 e 2,0 vezes nas temperaturas entre 0-5°C e 5-10°C, respectivamente (Tabela 2). Por alguma razão desconhecida,

não há aparente aumento da respiração entre 10-15°C, seguido de pequena elevação na faixa de 15-20°C. Estas taxas respiratórias são observadas imediatamente após o final da cura em bulbos dormentes, porém a respiração aumenta significativamente com o período de armazenamento. Próximo à brotação, no entanto, a taxa respiratória da cebola aumenta 4-5 vezes em condições de armazenamento de 15-25°C.

Tabela 2 - Taxas respiratórias e valores do fator Q_{10} em bulbos de cebola.

| Temperatura (°C) | Respiração (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) | Valor do fator Q_{10} |
|------------------|---|-------------------------|
| 0 | 3 | - |
| 5 | 5 | 2,8 |
| 10 | 7 | 2,0 |
| 15 | 7 | 0,0 |
| 20 | 8 | 1,3 |

Fonte: Robinson *et al.* (1975).

O fator Q_{10} para a liberação de CO₂ pode ser significativamente alterado se o produto for armazenado em condições de baixa disponibilidade de O₂. Em condições normais de suprimento de O₂, o piruvato formado na glicólise será oxidado completamente em CO₂ no

ciclo do ácido tricarboxílico. Havendo ausência de níveis adequados de O_2 na atmosfera de armazenamento inicia-se a fermentação alcoólica, com a conversão de piruvato em acetaldeído pela enzima piruvato descarboxilase, e subsequente redução do acetaldeído em etanol pela ação da enzima álcool desidrogenase. Como consequência imediata da fermentação há rápido aumento da liberação de CO_2 pela ação da piruvato descarboxilase e subsequente aumento da concentração de acetaldeído e etanol nas células, resultando no desenvolvimento de aroma e sabor indesejáveis. A redução da disponibilidade de O_2 na atmosfera de armazenamento de cebola pode ocorrer em pilhas excessivamente altas, associado à ausência de ventilação apropriada na área de armazenamento.

5. DORMÊNCIA

A dormência representa importante fator de capacidade de armazenamento do bulbo, e pode ser descrita como ausência de crescimento da folha de brotação, caracterizado pelo alongamento da bainha e do limbo foliar (Bufler, 2001). A brotação e o enraizamento são processos sequenciais do crescimento e desenvolvimento da cebola, nos quais atuam hormônios vegetais (Santos *et al.*, 1993).

Entre os estádios de máxima área foliar até o amolecimento do pescoço ocorre drástica diminuição na presença de auxina no topo da folhagem e no ápice do bulbo, e por ocasião do dessecamento do pseudocaule, observa-se intensa atividade de inibidores nos

tecidos foliares (Isenberg et al., 1987). A aplicação de combinação de diversos hormônios na fase final de crescimento dos bulbos e após a colheita, demonstram que o ácido abscísico (ABA) atua como principal inibidor da brotação. A injeção de ABA durante o crescimento do bulbo antecipa a senescência da planta e quando aplicado durante o armazenamento, retarda até o final da dormência, mesmo quando os bulbos são mantidos em temperaturas favoráveis a brotação (Mahotiere et al., 1976).

A brotação, externamente visível, é o indicativo do fim da dormência nos órgãos de reserva, sendo considerado o limite máximo da adequabilidade da cebola como alimento (Musa et al., 1973; Santos et al., 1993). Durante o armazenamento dos bulbos, há rápida redução nos níveis de ABA e continuada elevação nos teores dos promotores de crescimento auxinas, giberelinas e citocininas (Isenberg et al., 1987). Pelas correlações provavelmente há participação de um ou mais promotores na quebra da dormência e retomada do crescimento da folha de brotação da cebola. Mahotiere et al. (1976) observaram que a aplicação de cinetina estimulou a brotação dos bulbos dormentes de cebola, enquanto que, giberelinas, auxina e ethephon não tiveram efeito significativo, indicando, portanto que as citocininas endógenas participam do processo inicial de quebra da dormência.

Em trabalho recente (dados ainda não publicados), foi observado aumento do índice visual de superação de dormência (IVD), em cebola (*Allium cepa* L.) da variedade "Bola Precoce", durante a cura em silo (Figura 1). Esse aumento representou 0,63% quando avaliado com 36 horas de cura, em relação ao período inicial, indicando que

os bulbos de cebola permaneceram dormentes durante todos os períodos da cura.

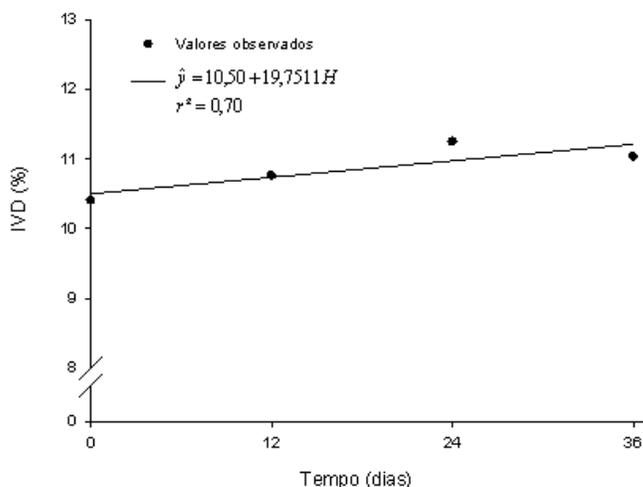


Figura 1 - Média dos tratamentos para o índice visual de superação da dormência (IVD) durante a cura. (Fonte: Cardoso, 2012)

A extensão do período de dormência da cebola é influenciada pela temperatura de armazenamento, e o comportamento quanto à brotação é similar em genótipos com vida de prateleira curta, cv. Excel, ou de vida longa, cv. Australian Brown (Figura 2). Temperaturas próximas a 10°C foram as mais efetivas em induzir o final da dormência dos bulbos, enquanto que as temperaturas de 0 e 30°C retardaram o

início da brotação (Figura 2). Isenberg et al. (1987) especulam que a antecipação da brotação estimulada pela baixa temperatura parece estar associada ao aumento da atividade de giberelinas. Resultados semelhantes foram observados por Benkeblia & Selselet-Attou (1999), onde o armazenamento de cebolas curadas por 2-3 semanas a 9°C, seguido de 18°C acelerou a brotação dos bulbos quando comparado com as taxas de brotação daqueles bulbos armazenados pelo mesmo período de tempo a 0°C seguido de armazenamento a 18°C. Neste mesmo trabalho, os autores observaram que a permanência dos bulbos na temperatura constante de 18°C reduziu a taxa de brotação em 80% em relação aos tratamentos anteriores.

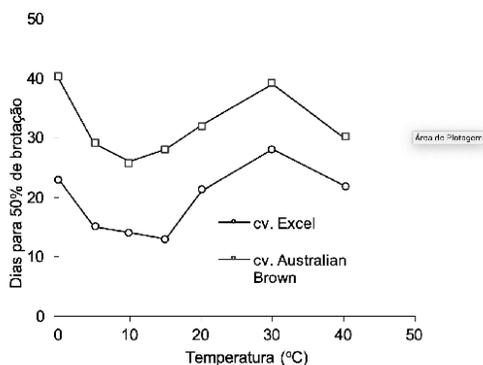


Figura 2 - Dias para brotação de 50% dos bulbos após plantio em substrato úmido a 15°C de duas cultivares de cebola previamente armazenadas a 0, 5, 10, 15, 20, 30 e 40°C por 4 semanas. (Fonte: Abdalla & Mann, 1963)

Benkeblia & Shiomi (2004) durante quebra de dormência de bulbos de cebola, tratados por quatro semanas a 0°C e armazenados

no escuro a 20°C, verificaram que com o tratamento frio, os primeiros brotos foram observados durante a terceira semana, enquanto o brotamento total se deu depois de oito semanas. Outra abordagem no estudo da dormência por esses autores foi de estudar a fisiologia dos brotos durante a exposição à baixa temperatura. Depois de oito semanas a taxa de respiração de bulbos brotados foi 52% maior em relação a bulbos recentemente colhidos e bulbos dormentes.

6. INJÚRIA MECÂNICA

A cebola é semelhante a outras hortaliças por isso requer cuidado na manipulação visando evitar ao máximo, danos mecânicos que possam se traduzir em redução da vida de prateleira do produto. Esta é uma das principais razões porque na cultura da cebola ainda é utilizada intensa mão-de-obra manual nas operações de tratamentos culturais e de colheita (Maw et al., 1998). Além disso, a integridade física da casca garante melhor aparência e classificação final do produto. Yoo & Pike (1995) realizaram um estudo simulando os efeitos de tipos de injúrias mecânicas sobre a perda de matéria fresca durante o armazenamento de bulbos curados de Texas Grano (Tabela 3).

Tabela 3 - Porcentagem total de perda de matéria fresca em cebola injuriada mecanicamente e armazenada a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de 40-50% por 5 semanas.

| Tratamento | Perda de matéria fresca (%) | | | | |
|---------------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|
| | Armazenamento (semanas) | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Corte | 2,4 a | 4,0 a | 5,3 a | 7,5 a | 9,3 a |
| Corte + queda | 2,5 a | 4,0 a | 5,2 a | 8,3 a | 10,5 a |
| Queda | 0,8 b | 1,8 b | 2,6 b | 5,6 b | 8,4 a |
| Controle | 0,7 b | 1,3 b | 2,4 b | 3,3 b | 4,0 b |

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Corte: cebola foi cortada verticalmente com 5 mm de profundidade em quatro locais do bulbo. Corte + queda: corte anterior e queda do bulbo por duas vezes da altura de 80 cm em superfície dura e lisa. Queda: duas quedas de 80 cm de altura. Controle: sem injúria mecânica. Fonte: Yoo & Pike (1995).

Os tratamentos corte e corte + queda aumentaram a perda de matéria fresca total a partir da primeira semana de armazenamento, e o tratamento de queda dos bulbos a partir da quinta semana, quando comparado à perda de matéria fresca dos bulbos controle (Tabela 3). As injúrias provocadas pela queda e corte foram acumulativas ao longo do armazenamento, e deveu-se principalmente a aceleração da

taxa de desidratação dos bulbos estimulada pelos danos mecânicos. Nestes tratamentos a presença de podridão por *Botrytis* foi aleatória e insignificante, porém, afetou a porcentagem final de perda da matéria fresca.

7. DEFEITOS

Defeitos Leves

- Descoloração - irregularidade parcial ou total na cor característica da cultivar, incluindo o esverdeamento.
- Falta de Catáfilos (Películas) - bulbo com mais de 30% da superfície desprovida de catáfilos envolventes (Figura 3A).
- Falta de Turgescência (Flacidez) - deficiência da rigidez normal do bulbo (Figura 3B).
- Dano Mecânico - dano de origem mecânica observada nos catáfilos do bulbo de cebola (Figura 3C).



Figura 3 - Exemplos de defeitos leves encontrados em cebola: A- falta de catáfilos; B - falta de turgescência; C - dano mecânico.

Defeitos Graves

- Mancha Negra - área enegrecida em virtude do ataque de fungos nos catáfilos externos (Figura 4A).
- Brotação - presença da emissão de broto visível acima do colo do bulbo (Figura 4B).
- Deformado - bulbo com formato diferente do típico da cultivar, podendo ser devido a crescimentos secundários (bulbos unidos pelo talo) (Figura 4C).
- Podridão - detrimento patológico com grau de decomposição, desintegração ou fermentação dos tecidos do bulbo.

Talo Grosso - presença de abertura maior que a normal na união dos catáfilos do colo do bulbo, decorrente ao alongamento do talo pelo interior do mesmo.



Figura 4 - Exemplos de defeitos graves encontrados em cebola: A- mancha negra; B - brotação; C - deformado.

8. CLASSIFICAÇÃO

As cebolas são classificadas de acordo com o grupo (formato), subgrupo (cor), classe (tamanho) e qualidade:

- Grupo - leva-se em consideração o formato dos bulbos:

Grupo 1 – redondo, oblongo ou piriforme;

Grupo 2 – achatado.

- Subgrupo – é considerada a coloração do bulbo: branca, amarela, vermelha (pinhão) ou roxa.

- Classe ou calibre – leva-se em consideração o tamanho do bulbo (dentro da embalagem é permitida a mistura de até 10% de bulbos da classe imediatamente superior ou inferior à classe indicada no rótulo).

| Classe | Calibre |
|---------------|----------------------|
| 5 | Maior que 90 mm |
| 4 | Maior que 70 a 90 mm |
| 3 cheio | Maior que 60 a 70 mm |
| 3 | Maior que 50 a 60 mm |
| 2 | Maior que 35 a 50 mm |
| 1 | Maior que 15 a 35 mm |
| 0 | Menor que 15 mm |

Fonte: Ceasa (2012).

- Sabor

O sabor e o aroma característico da cebola podem ser classificados como:

| Sabor | Rótulo |
|--------------|---------------|
| Picante | Vermelho |
| Suave | Amarelo |
| Doce | Laranja |
| Branca | Branco |

Fonte: Ceasa (2012).

- Tipo ou categoria: é determinado pela presença de defeitos graves, leves, associados à homogeneidade:

| Categoria | | | | |
|------------------|--------------|----------|-----------|------------|
| Defeitos | Extra | I | II | III |
| Talo grosso | 0% | 3 | 5 | 20 |
| Brotado | 0% | 0 | 3 | 20 |
| Podridão | 0% | 0 | 1 | 1 |
| Mofado | 2% | 3 | 5 | |
| Mancha negra | 2% | 3 | 5 | 5 |
| Total de graves | 2% | 5 | 10 | 20 |
| Total geral | 5% | 10 | 15 | 100 |

Fonte: Ceasa (2012).

9. EMBALAGEM

Para cebola, a embalagem mais utilizada para comercialização no Ceasa e redes atacadistas são sacos de polipropileno ou polietileno que apresentam 750 mm de altura e 480 mm de largura (Figura 5).



Figura 5 - Bulbos de cebola embalados em sacos de 20 kg de polipropileno.

10. ARMAZENAMENTO

Devido à falta de infra-estrutura, a comercialização ocorre nos primeiros 60 dias e as perdas anuais chegam a atingir a ordem de 40-50%. Os fatores identificados como sendo críticos para o sucesso do armazenamento da cebola são: a escolha da cultivar, os métodos culturais, a colheita, a cura, a temperatura e umidade relativa de armazenamento, assim como o modelo e a estrutura dos armazéns utilizados (Proctor et al., 1981).

No país existem basicamente três tipos de armazenagens para cebola: armazéns comuns, ou armazenagem em condições naturais; armazéns ventilados; e armazéns frigoríficos. O mais utilizado no Brasil é a armazenagem feita em câmaras frigoríficas, em armazéns convencionais ou em sistemas rústicos (pequenas propriedades). Dentre estes, o que obtém melhores resultados são os frigoríficos, porém tem custo elevado de investimento e de manutenção (Volking et al., 1983).

Após a cura e toailete, os bulbos de cebola podem ser acondicionados em sacos de polipropileno ou caixas ou mantidos a granel, seguidos de armazenamento em galpões com temperatura ambiente e ventilação ou em câmaras frigoríficas. No armazenamento em sacos ou a granel, as pilhas de cebola não devem exceder a altura de 3 m de modo a prevenir danos mecânicos por compressão (Thompson, 1996).

Matos *et al.* (1998) desenvolveram um sistema de armazenamento em silos com capacidade para 300 kg de bulbos e aeração

intermitente. Os silos metálicos perfazem a altura total de 2,16 m e diâmetro de 0,56 m, com isolamento de lã de vidro externa e ventilador axial (Figura 6).

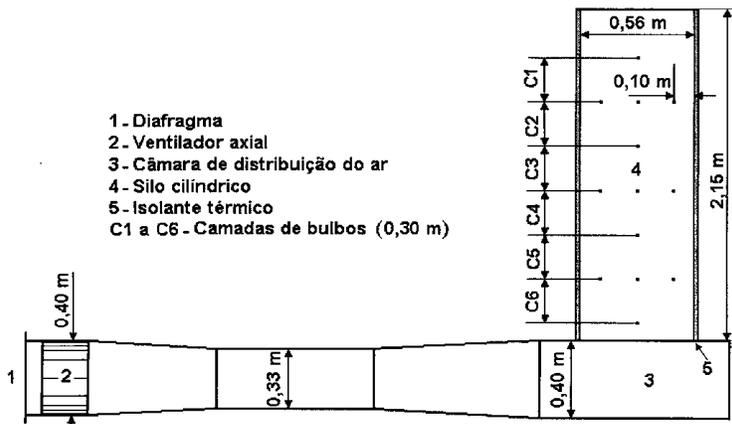


FIG. 1. Vista lateral do silo de aeração.

Figura 6 - Bulbos de cebola embalados em sacos de 20 kg de polipropileno.

A aeração foi realizada diariamente nas vazões de 0,5, 1,0 e 1,5 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ de produto, pelo período de tempo suficiente para reduzir a umidade relativa do topo do silo próximo ao nível do ar insuflado pelo ventilador axial. A utilização de 0,5 $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ de produto foi insuficiente para permitir o adequado armazenamento da cebola, neste silo houve acentuada deterioração com escorrimento de líquidos pútridos após 60 dias de armazenamento com perdas de 78,9% do produto (Tabela 4). Esta excessiva porcentagem de deterioração foi associada à presença de elevada umidade intersticial, próxima a

100%, evidenciando, portanto, que a vazão de $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ foi insuficiente em promover o abaixamento da umidade dentro do silo. Nos silos com taxas de aeração de $1,0$ e $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ de produto as perdas por deterioração foram de $18,1\%$ e $15,1\%$ aos 88 dias de armazenamento, respectivamente. Estas perdas são aceitáveis quando se visa o armazenamento prolongado de cebola em condições de temperatura e umidade ambiente. Rêgo et al. (2019) demonstraram que bulbos de cebola armazenados em silos resfriados aumentam a viabilidade destes em 7 dias quando comparados com o armazenamento de bulbos em silos sem resfriamento artificial.

A perda de matéria fresca dos produtos hortícolas na pós-colheita é afetada por alterações da temperatura, umidade do ar de armazenamento e velocidade do ar circundante do produto (Thompson, 1996). Bulbos da cv. Baía piriforme armazenados com temperaturas entre $20\text{-}35^\circ\text{C}$ tiveram menores taxas de perda de matéria fresca quando a umidade relativa do ar de armazenamento foi $55\text{-}70\%$, com taxas inferiores nos bulbos mantidos a $20\text{-}25^\circ\text{C}$ (Matos et al., 1997). A presença continuada no ar de armazenamento de umidade inferior a 55% estimulou o aparecimento de rachaduras na casca, com subsequente aumento da migração de vapor de água do interior do bulbo. E a presença de umidade relativa do ar superior a 75% promoveu acentuado aumento do teor de água da casca da cebola, favorecendo a perda de matéria fresca do bulbo.

Tabela 4 - Porcentagem de bulbos deteriorados da cebola cv. Baia Piriforme, por camada de bulbo, armazenados sob taxas de aeração intermitentes.

| Posição da camada de cebola no silo | Deterioração (%) | | |
|-------------------------------------|---|--------|--------|
| | Taxas de aeração ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$) | | |
| | 0,5 | 1,0 | 1,5 |
| 1 | 68,5 | 21,1 | 21,9 |
| 2 | 87,0 | 23,8 | 15,6 |
| 3 | 93,0 | 24,1 | 18,4 |
| 4 | 79,2 | 17,2 | 15,7 |
| 5 | 67,0 | 13,1 | 13,9 |
| 6 | - | 12,2 | 12,1 |
| Média | 78,9* | 18,1** | 15,5** |

* Perdas aos 60 dias de armazenamento.

**Perdas aos 88 dias de armazenamento.

Fonte: Matos *et al.* (1998).

Ferreira *et al.* (2011) desenvolveram sistema de armazenamento em silo de alvenaria, com capacidade para 400 Kg de cebola da variedade Bola Precoce e sistema de ventilação noturna, onde a vazão média foi em torno de $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na saída do silo. O silo continha 1 m de diâmetro e 1,5 m de comprimento, com fundo de chapa perfurada e ventilador acoplado à entrada, sendo este ligado no período noturno por 12 horas. Este tratamento foi comparado com bulbos armazenados em sacos de polipropileno acomodados em

galpão (tratamento controle). Aos 45 dias de armazenamento o tratamento controle foi eliminado, enquanto que, o tratamento silo ventilado foi eliminado aos 90 dias de armazenamento, devido à alta incidência de podridão causada por *A. Níger*, sendo de 86% e 80% dos bulbos fungados no controle e silo ventilado, respectivamente. Ao final dos 45 dias, o tratamento controle apresentava perda de massa fresca média de 3,12%, sendo esse valor maior que o observado no tratamento silo ventilado, o qual obteve média de 1,96%. No dia da eliminação, o tratamento do silo ventilado apresentou perda de 4,96% (dados não publicados).

O uso de refrigeração prolonga a conservação dos bulbos, sendo ideal em condições de temperatura entre 0-1°C e umidade relativa de 70-78% (Schouten, 1987). Nestas condições há menor perda de matéria fresca por transpiração e respiração, e menor porcentagem de bulbos infectados por microrganismos. Geralmente as cebolas podem ser armazenadas cerca de 7 meses dependendo do potencial de armazenamento do genótipo e condições adequadas de cura do produto. Cebolas do híbrido precoce Granex 33 armazenadas em temperatura de $5\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $80\pm 5\%$ de umidade relativa tiveram enraizamento de 75% dos bulbos após o terceiro mês, tornando, portanto, viável o armazenamento dos bulbos até o segundo após a cura (Kopsell & Randle, 1997). Porém os bulbos do mesmo híbrido são adequadamente armazenados com perdas insignificantes por até 7 meses a 1°C na presença de 5% CO_2 e 3% de O_2 (Thompson, 1998). A elevação da concentração de CO_2 e redução de O_2 reduz a porcentagem de brotação e crescimento da raiz dos bulbos armazenados.

Alguns estudos indicam que a brotação é considerada um dos principais problemas durante o armazenamento da cebola. Para que ocorra a paralisação da brotação é necessário que os bulbos sejam armazenados a temperaturas próximas a 0°C. Temperaturas superiores a 28°C também inibem a brotação, porém, favorecem o aumento da desidratação e deterioração dos bulbos.

11. REFERÊNCIAS

ABDALLA AA; MANN LK. 1963. Bulb development in the onion (*Allium cepa* L.) and the effect of storage temperature on bulb rest. *Hilgardia* 35: 85-112.

BENKEBLIA N; SELSELET-ATTOU G. 1999. Effects of low temperatures on changes in oligosaccharides, phenolics and peroxidase in inner bud of onion *Allium cepa* L. during break of dormancy. *Acta Agriculture Scandinavica* 49:98-102.

BENKEBLIA N; SHIOMI N. 2004. Chilling effect on soluble sugars, respiration rate, total phenolics, peroxidase activity and dormancy of onions bulbs. *Scientia Agricola* 61: 281-285.

BOTTCHER H. 1999. Influence of harvest date on the postharvest responses of allium-vegetable species. [Einfluss des Erntezeitpunktes auf das Nachernteverhalten von Allium-Gemusearten] *Gartenbauwissenschaft* 64: 220-226.

BREWSTER JL. 1994. *Onions and other vegetables alliums*. Wallingford: CAB International. 236p.

BUFLER G. 2001. A simple method to monitor onion bulb dormancy. *Acta Horticulturae* 553:129-130.

CEASA. 2012. *Classificação da cebola (Allium cepa)*. Disponível em <http://minas.ceasa.mg.gov.br/scriptcase/file/docprhartigos/cebola%5B1%5D.pdf.norma.PDF>.

FERREIRA APS; SILVA TP; PEREIRA DM; FINGER FL; PUIATTI M. 2011. Armazenamento de bulbos de cebola em silo com sistema de ventilação. In: 51 CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 2011, *Anais eletrônicos... Viçosa: UFV*. Disponível em <http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/ViewTrabalho.aspx?idtrabalho=6133&idevento=5&tipo=TRABALHOS>. Acessado em 17 de fevereiro de 2012.

FERREIRA, MD. 2000. *Cultura da cebola: recomendações técnicas*. Campinas: ASGROW. p.36.

FINGER FL; SOARES VLF; SOUZA PA; SOUZA SO; CECON PR. 2006. *Perda pós colheita de cebolas influenciada pela época de colheita e por seu genótipo*. *Revista Brasileira de Armazenamento* 31: 192-196.

FONTES VL. 1999. *Influência da maturidade da planta na colheita e da cultivar sobre a qualidade, cura e perdas pós-colheita de bulbos de cebola*. Viçosa: UFV. 56p. (Tese de mestrado).

GUBB, I; MACTAVISH, HS. 2002. Onion pre- and postharvest considerations. In: RABINOWITCH HD; CURRAH L. (eds.). *Allium crop science: recent advances*. Cab International, 515p.

ISENBERG FMR; LUDFORD PM.; THOMAS TH. 1987. Hormonal alterations during the postharvest period. In: WEICHMANN J. (Ed.) *Postharvest physiology of vegetables*. New York: Marcel Dekker. p.45-94.

KADER, AA. Respiration and gas exchange of vegetables. In: WEICHMANN J. (Ed.) *Postharvest physiology of vegetables*. New York: Marcel Dekker. 1987. p.25-43.

KAHANE R; VIALLE-GUÉRIN E; BOUKEMA I; TZANOUDAKIS D; BELLAMY C; CHAMAUX C; KIK C. 2001. Changes in non-structural carbohydrate composition during bulbing in sweet and high-solid onions in field experiments. *Environmental and Experimental Botany* 45: 73-83.

KEPKA AK; SYPIEN MA. 1991. The influence of the some factors on the keeping quality of onions. *Acta Agrobotânica* 44: 65-71.

KOMOCHI S. Bulb dormancy and storage physiology. 1990. In: RABINOWITCH HD; BREWSTER JL. (Eds.). *Onions and allied crops*. Boca Raton: CRC Press. p. 89-111.

KOPSELL DE; RANDLE WM. 1997. Onion cultivars differ in pungency and bulb quality changes during storage. *HortScience* 32: 1260-1263.

LUENGO RFA; CALBO AG. 2001. *Armazenamento de hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças*. 242p.

MAHOTIERE S; HENER RC; DENNIS FG. 1976. Effects of applied growth substances of shoot apices excised from onion in rest. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 101: 211-213.

MATOS AT; DALPASQUALE VA; FINGER FL. 1998. Armazenamento de bulbos de cebola sob diferentes taxas de aeração intermitente. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33: 599-603.

MATOS AT; FINGER FL; DALPASQUALE VA. 1997. *Perda de matéria fresca e isotermas de sorção em bulbos de cebola. Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32: 235-238.

MAW BW; SMITTLE DA; MULLINIX BG; CUNDIFF JS. 1998. Design and evaluation of principles for mechanically harvesting sweet onions. *Transactions of the ASAE, St. Joseph* 41: 517-524.

METTANANDA KA; FORDHAM R. 1997. The effects of 12 and 16 hour daylength treatments on the onset of bulbing in 21 onion cultivars (*Allium cepa* L.) and its application to screening germplasm for use in the tropics. *Journal of Horticultural Science* 72: 981-988.

MIRANDA MN; BILHALVA AB; SILVEIRA JÚNIOR P. 1996. *Efeito da época de colheita e armazenamento na conservação de cebola (Allium cepa, L.) cv. Petrolini. Revista Brasileira de Agrociência* 2: 155-158.

MÜLLER SR; CASALI VWD; SILVA JS. 1993c. *Efeito da cura artificial na dormência e na retenção de películas externas de cebola (Allium cepa). Relatório de Pesquisa – Projeto Olericultura 87/93, EPAMIG*. p. 199-201.

MÜLLER SR; CASALI VWD; SILVA JS. 1993a. Perdas de peso e deterioração de cebolas *Allium cepa* curadas artificialmente. *Relatório de Pesquisa – Projeto Olericultura 87/93, EPAMIG*. p. 194-197

MÜLLER SR; CASALI VWD; SILVA JS. 1993b. Brotação e enraizamento durante a armazenagem de bulbos de cebola (*Allium cepa*) curados artificialmente. *Relatório de Pesquisa – Projeto Olericultura 87/93, EPAMIG*. p. 197-199.

PROCTOR FJ; GOODLIFE JP; COURSEY DG. 1981. Postharvest losses of vegetables and their control in the tropics. *Vegetable productivity* p.140-172.

RÊGO ER; FERREIRA APS; PEREIRA DM; PEREIRA AM; PEREIRA OL; FINGER FL. 2019. Artificially cooling of onion bulbs stored in brickwork-patterned vertical silos. *Horticultura Brasileira*, 37(2), 234-238.

ROBINSON JE; BROWNE KM; BURTON WG. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Annals of Applied Botany* 81: 399-408.

RUBATZKY VE; YAMAGUCHI M. 1997. *World vegetables: principles, production, and nutritive values*. New York. 843p.

SANTOS RFA; ARAÚJO MT. 1993. Conservação pós-colheita da cebola 'São Paulo'. *Horticultura Brasileira* 11: 41-42.

SARGENT SA; STOFFELLA PJ; MAYNARD DN. 2001. Harvest date affects yield and postharvest quality of nondried, short-day onions. *HortScience* 36: 112-115.

SCHOUTEN SP. 1987. Bulbs and tubers. In: WEICHMANN, J. (Ed.) *Postharvest physiology of vegetables*. New York. p. 555-581.

SOARES VLF; FINGER FL; MOSQUIM PR. 2004. Influência do genótipo e do estágio de maturação na colheita sobre a matéria fresca, qualidade e cura dos bulbos de cebola. *Horticultura Brasileira* 22: 18-22.

SOUZA RJ; RESENDE GM. 2002. *Cultura da cebola*. Lavras: UFLA, (Textos Acadêmicos - Olericultura, 21). 115p.

SOUZA SO; SILVA FC; FINGER FL; CASALI VWD; CECOM PR. 2010. *Qualidade da cebola influenciada pelo estágio de maturação da planta na colheita*. *Revista Ceres* 57: 716-720.

THOMPSON AK. 1996. *Postharvest technology of fruits and vegetables*. Oxford: Blacwell Science Ltd. 410p.

THOMPSON AK. 1998. *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. Wallingford: CAB. 278p.

TUCKER WG. 1989. The sprouting of bulb onions in store. *Acta Horticulturae* 258: 485-492.

VIEIRA M.C. 1980. *Efeito de corte, tombamento e dessecação da folhagem no rendimento e conservação da cebola (Allium cepa L.) 'Baia Periforme'*. Viçosa: UFV (Tese de Mestrado).

VOLKING IL; ROSLOV NN; MUKHANOV PA. 1993. *Modern potato and vegetable storage*, New Delhi: American Public Company, Inc. 188p.

WALL MM; CORGAN JN. 1994. Postharvest losses from delayed harvest and during common storage of short-day onion. *HortScience* 29: 802-804.

YOO KS; PIKE LM. 1995. Postharvest losses of mechanically injured onions after curing. *HortScience* 30: 143.

SOBRE OS(AS) AUTORES(AS)

Elizanilda Ramalho do Rêgo possui graduação em Licenciatura Plena Em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Paraíba (1989), mestrado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (1997) e doutorado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (2001). Atualmente é professora titular da Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Melhoramento Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: melhoramento de hortaliças e plantas ornamentais, genética vegetal, recursos genéticos e agricultura familiar.

Ana Paula Sato Ferreira possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista - (2007), Mestrado em Fitotecnia (Fisiologia e Manejo Pós-Colheita de Produtos Hortícolas) pela Universidade Federal de Viçosa (2009), doutorado em Fitotecnia (Fisiologia e Manejo Pós-Colheita de Produtos Hortícolas) pela Universidade Federal de Viçosa, Pós-doutora em Fitopatologia (2015). Atualmente é professora no Centro de Ensino de Conselheiro Lafaiete.

Mailson Monteiro do Rêgo possui graduação em Licenciatura Plena Em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Paraíba (1990), mestrado em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (1997) e doutorado em Genética e Melhoramento

pela Universidade Federal de Viçosa (2001). Atualmente é professor associado IV da Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Melhoramento Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: biotecnologia vegetal, genética e melhoramento vegetal e recursos genéticos vegetais.

Fernando Luiz Finger possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas (1982), mestrado em Ciências Agrárias (Fisiologia Vegetal) pela Universidade Federal de Viçosa (1985) e doutorado em Horticulture - The Ohio State University (1993). Pós-doutorado em Fisiologia Vegetal no USDA (2000), Estados Unidos. Atualmente é Professor titular da Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fisiologia de Plantas Cultivadas, atuando principalmente nos seguintes temas: amadurecimento de frutos e senescência de flores, etileno, respiração, conservação pós-colheita, metabolismo de carboidratos em raízes tuberosas e longevidade de plantas ornamentais.

