

Fisiologia da produção de citros

Setembro 2019

1

Plano de aula Fisiologia da produção de citros

Introdução

Fisiologia aplicada ao desenvolvimento vegetativo

- Desenvolvimento da planta juvenil
- Desenvolvimento da planta enxertada

Fisiologia aplicada ao florescimento e frutificação

- Indução floral e florescimento
- Fixação dos frutos
- Crescimento, desenvolvimento, maturação e qualidade

Leitura complementar

- Citrus. Davies & Albrigo. Cap.3. p.52-82.

2

Temperatura e unidades térmicas anuais em diversas regiões de cultivo de citros no mundo

Table 3.1. Data on temperature and annual heat units (above 12.5°C) for various citrus-growing areas.

Area and location	Latitude	Elevation above sea level (m)	Annual heat units (°C)	No. of months with average temp.	
				<12.5°C	<17.5°C
Tropical regions					
Israel (Piarco Airport)	10°40'N	10	5000	0	0
Colômbia (Arcataca)	10°30'N	30	5500	0	0
Colômbia (Girardot)	4°20'N	400	5700	0	0
Colômbia (Palmeira)	3°30'N	1000	3500	0	0
Colômbia (Itá/Florida)	4°40'N	1800	1700	0	10
Ecuador (Santa Rosa)	3°30'S	10	4400	0	0
Ecuador (Conecote)	0°15'S	2200	1000	0	11
Kenya (Mombasa)	4°00'S	20	5200	0	0
Kenya (Nairobi)	1°20'S	1600	2500	0	1
Uganda (Iringa)	0°30'N	1100	3330	0	0
Sri Lanka (Mannar)	9°00'N	30	5700	0	0
Sri Lanka (Nawara Dya)	7°00'N	1900	1000	0	0
Subtropical regions					
Spain (Valencia)	39°30'N	30	1600	3	6
California (Riverdale)	34°00'N	260	1700	3	6
California (Indio)	33°40'N	-10	3900	1	4
Israel (Dugana)	32°40'N	-200	3660	0	4
Israel (Beit Sheva)	31°50'N	50	2600	1	4
Florida (Ocala)	28°40'N	30	3700	0	2
Texas (Weslaco)	26°05'N	40	3900	0	2
Brazil (Limeira)	22°30'S	700	3000	0	1

Source: Mendel (1969).

3

Fisiologia aplicada ao desenvolvimento vegetativo

Germinação x Temperatura

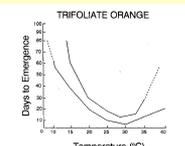
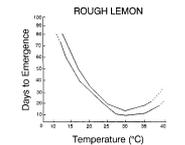



Fig. 3.2. Effect of temperature on seedling emergence of two citrus species. For each graph: upper line = seed coat and lower line = seed coat. Source: V.G. Wilbank and N. Khot, University of Florida, Gainesville, USA (unpublished).

4

Fisiologia aplicada ao desenvolvimento vegetativo

Planta juvenil:

- **Período juvenil longo (plantas não enxertadas)**
 - A duração do período juvenil varia com a espécie e fatores do ambiente
 - Limões e limas: Período juvenil = 2 anos
 - Laranjas, tangerinas e pomelos: Período juvenil = 5 a 13 anos
 - Calamondin e limão Galego: Florescimento após 18 meses
- **Crescimento inicial ortotrópico em dois ou três fluxos**
- **Crescimento posterior simpodial**

5

Simpódio: Tipo de ramificação em que o eixo principal é formado pelo desenvolvimento sucessivo de várias gemas; cada gema que passa a assumir o comando do desenvolvimento, deixa ao lado a gema antecedente

(Ferri et al., 1989)

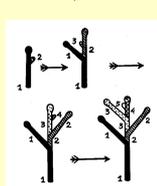
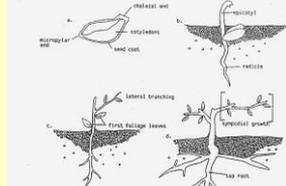



Fig. 3.1. Life cycle of a citrus seedling. (a) Seed morphology before emergence. (b) Seedling growth about two weeks after radicle and epicotyl emergence. (c) Development of lateral branches. (d) Development of a sympodial growth habit.

6

Fisiologia aplicada ao desenvolvimento vegetativo

Unidades térmicas e tempo para produção da mudas em viveiros não protegidos em Orlando e Valência

Localidade	UT por ano	Tempo para produção da muda (meses)
Orlando (FL)	3700	15
Valência (Espanha)	1600	30

Davies & Albrigo (1994)

Fotossíntese

Espécie	Fotossíntese máxima ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)
Cítricos	9 a 12
Cereja	25 a 30

Davies & Albrigo (1994)

7

8

Fotossíntese X Radiação solar

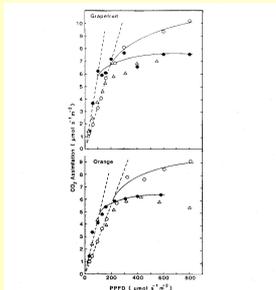


Fig. 3.3. Light responses of net CO_2 assimilation rate and apparent quantum yield ($\mu\text{mol CO}_2$ assimilated per incident $\mu\text{mol PPF}$) of grapefruit and orange leaves grown for 5 months under low PPF and after being moved from low to high PPF for 14 days. Curved lines were fitted by eye. Source: Sveterlin (1984).

A assimilação de CO_2 aumenta até $700 \mu\text{mol PPF}/\text{m}^2/\text{s}$
(=30-35% da insolação máxima)

9

Fotossíntese X Temperatura

Faixas de Temperaturas ótimas:

• Regiões de alta UR: 28-30 C

Temperaturas acima de 35 C podem levar à redução da enzima 1,5 Ribulose-difosfato carboxilase (RuBisco) e ao fechamento de estômatos

• Regiões de baixa UR: 15-22 C

Temperaturas acima de 22 C levam a aumento na diferença de pressão de vapor entre a folha e atmosfera, reduzindo condução estomática

10

Fisiologia aplicada ao desenvolvimento vegetativo

O desenvolvimento vegetativo é máximo quando:

- Comprimento do dia é mediano a longo (>12h)
- A acumulação de UT é máxima
- Água não é limitante

11

Resistência de diversas espécies e cultivares à baixa temperatura (ordem decrescente)

Trifoliata
Kunquat
Tangerina
Laranja azeda
Laranja doce
Pomelo
Limão
Lima
Cidra

Cultivar Bahia é mais resistente ao frio que Valência

Resistência dos órgãos de vegetação e reprodução a baixa temperatura:
Raízes > Ramos grossos > Ramos finos > Frutos maduros > Frutos verdes > Folhas adultas > Folhas novas > Brotos novos > Flores

12

Desenvolvimento vegetativo da parte aérea

Início:

- Temperaturas acima de 12,5 C (regiões subtropicais)
- Disponibilidade de água (regiões tropicais)

Número e frequência de fluxos:

- 2 a 5 (regiões subtropicais)
- Contínuo (regiões tropicais)

Distribuição e persistência:

- Primavera: Muitas brotações com internódios curtos
- Verão: Menor número de brotações de comprimento médio maior
- As folhas são persistentes, com idade média de 3 anos



13

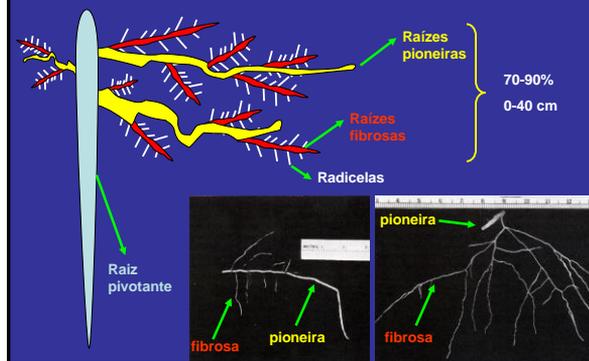
Desenvolvimento vegetativo da parte aérea

Número total de folhas e área foliar em plantas cítricas em função da idade

Idade (anos)	Número de folhas	Área foliar (m ²)
3	16.000	34
6	37.000	59
9	93.000	146
29	173.000	203

14

Desenvolvimento vegetativo do sistema radicular



15

Desenvolvimento vegetativo da parte aérea e do sistema radicular

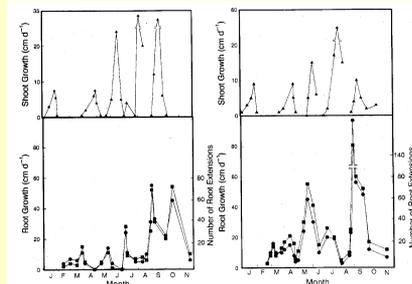


Fig. 3.4. Typical pattern of root and shoot growth during 1982 for 'Valencia' orange trees on rough lemon (left) and 'Carriizo' citrange (right) rootstocks. Data are shown for replicates of each rootstock. Symbols: ▲, shoot growth; ■, root growth; ●, number of roots. Source: Bevington and Castle (1985).

16

Desenvolvimento vegetativo do sistema radicular

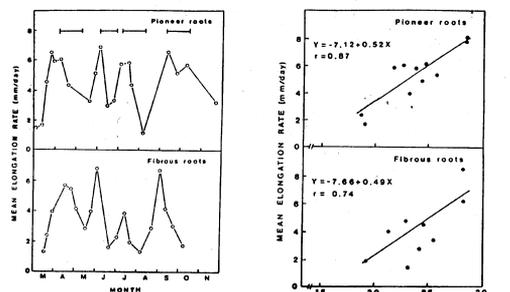


Fig. 3. Influence of shoot growth on the mean elongation rate of pioneer roots and first order lateral roots during 1982. Data are shown for replicate 1 of Carriizo citrange. Horizontal bars indicate periods of shoot growth.

Fig. 5. Relationship between soil temperature and the rate of elongation of pioneer roots and first-order lateral roots in Carriizo citrange.

17

Definições associadas ao florescimento em citros

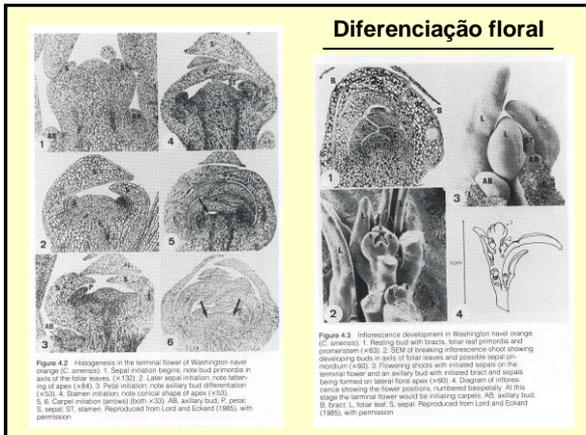
REPOUSO: Condição temporária do ramo ou raiz quando não há crescimento e não há formação de ramos

INDUÇÃO: mecanismo ativador ou repressor em cada gema, após interagir com fatores externos e internos, para determinar células meristemáticas a sintetizar estruturas especializadas (flores, inflorescências ou ramos vegetativos)

INICIAÇÃO: processos bioquímicos e/ou fisiológicos resultantes das proteínas recém sintetizadas (início da expressão da indução)

DIFERENCIAÇÃO: manifestação histológica e morfológica através da divisão e diferenciação celular, alongamento e desenvolvimento de órgãos

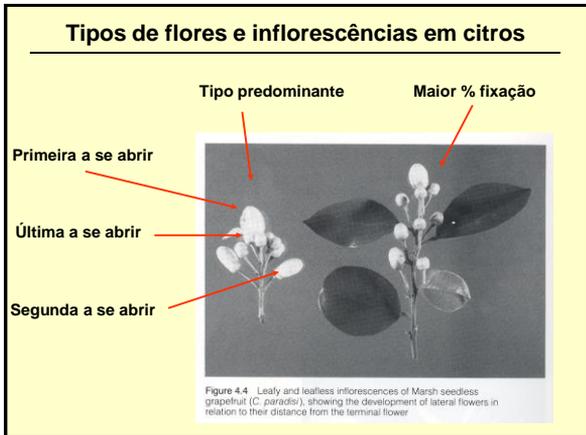
18



19



20



21

Tipos de flores e inflorescências em citros

Table 3.2. Number of fruit set by position on the inflorescence and by the number of flowers on the inflorescence of 'Hamlin' and 'Valencia' oranges, 1970.

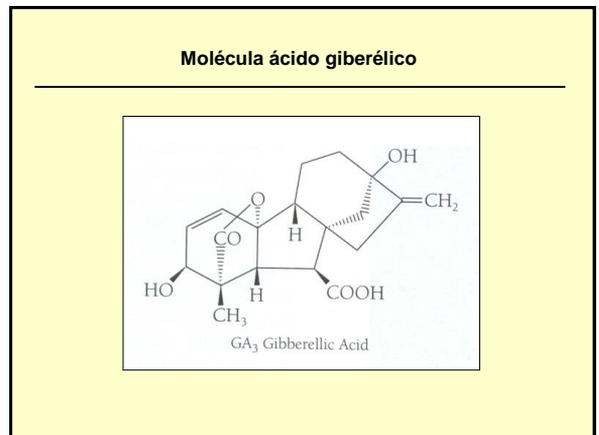
Fruit position	No. of flowers/inflorescence									No. of flowers	Per cent fruit set
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
'Hamlin'											
1*	40	1	1	1						731	5.9
2		14	18	4	10	5	3	1	1	327	37.3
3			3	3	3	2		2		257	4.7
4				6	3	3				185	7.6
5					2	1				127	2.4
6										56	1.8
7										21	0.0
8										8	0.0
9										1	0.0
No. of flowers	404	140	216	232	355	210	91	56	9	1713	
Per cent fruit set	9.9	10.7	9.7	6.0	4.8	5.7	4.4	3.6	11.1		7.5
'Valencia'											
1		4	2		2		1			640	1.0
2			9	6	7	7	3			337	9.5
3				4	4	3	1			268	4.9
4					3	6	3		2	212	6.6
5						3	3			130	2.3
6							2			68	2.9
7									1	19	5.3
8										4	0.0
No. of flowers	303	138	168	328	310	294	105	32		1678	
Per cent fruit set	1.3	8.0	6.0	4.9	5.2	4.4	1.9	6.3			4.4

Source: Jahn (1973).
*Position nearest the apex of the inflorescence.

22



23



24

Estádio de indução e iniciação floral



Aplicação de ácido giberélico nesse período inibe o florescimento

25

Número total de brotações em fevereiro e número total de flores e porcentagem de botões florais (pequenos e grandes) e flores abertas, em quatro ramos, com tratamentos diferenciados de ácido giberélico.

Avaliações	Número de pulverizações com ácido giberélico (a cada 10 dias)				
	0	3	4	5	6
No. total de brotações	4	6	63	16	43
No. total de flores	1782	426	8	17	0
% botões pequenos	45	71	78	100	-
% botões grandes	24	28	22	-	-
% flores abertas	31	-	-	-	-

Monselise & Halevy et al. (1964)

26

Efeito do anelamento em dois tipos de ramos no teor foliar de amido e florescimento em tanger 'Murcote'

Diâmetro do ramo (cm)	Anelamento	Amido foliar		Flores	
		Mg/g	ratio	Número	ratio
0,7	+	159,0 a	3,7	70 c	2,8
0,7	-	42,7 b		25 d	
3,5	+	153,7 a	2,8	810 a	2,9
3,5	-	54,9		280 b	

Goldschmidt et al. (1985)

27

Efeito de baixas temperaturas e aplicação foliar de uréia na concentração foliar de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ e no florescimento de estacas enraizadas de laranja 'Washington Navel' de cinco anos de idade

Duração do Stress (Semanas)	Concentração foliar de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$		Número médio de flores por planta	
	Sem uréia	Com Uréia	Sem Uréia	Com Uréia
0	456 a	-	6 a	-
4	559 b	928 (166%)	117 b	227 (194%)
6	583 b	1253 (215%)	131 b	310 (130%)
8	672 c	900 (134%)	347 c	437 (126%)

Lovatt et al. (1988)

28

Efeito do stress hídrico e aplicação foliar de uréia na concentração foliar de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ e no florescimento de limoeiro

TRATAMENTO	Concentração Foliar média de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ $\mu\text{g/g}$ matéria seca)	Número médio de flores por planta
Controle ($\Psi > -1$ M Pa)	519 c	14 b
Stress hídrico de curta duração ($\Psi = 3$ MPa por 30 dias)	646 b	53 b
Stress hídrico severo seguido de moderado ($\Psi = 3$ MPa por 20 dias) ($\Psi = 2$ MPa por 40 dias)	728 b	611 a
Stress hídrico moderado ($\Psi = -2$ MPa por 50 dias)		
Sem aplicação de uréia	683 b	165 b
Com aplicação de uréia	863 a	426 a

Lovatt et al. (1988)

29

Polinização e fixação

- A maioria das espécies cítricas não requerem polinização cruzada
Exceções: Tângelo 'Orlando'; Tangerina 'Robinson'
- A polinização é essencial para a produção de sementes e crescimento do ovário em variedades partenocárpicas
- Atividade das abelhas é adequada acima de $T > 12,5$ C
- Crescimento do tubo polínico:
 - Pode durar de 2 dias a 4 semanas
 - É paralisado a temperaturas inferiores a 20 C
 - É otimizado entre 25 e 30 C

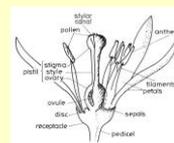


Figure 4.6. Diagrama de um flor cítrica (Lima)

30

Polinização e fixação

- Florescimento de uma laranjeira adulta pode chegar a 100.000 flores
- Queda inicial de frutos 3-4 semanas após o florescimento
- Fixação é estágio de desenvolvimento em que, a partir deste, os frutos chegarão a maturação, excluindo posteriores abscisões causadas por estresse fisiológico, danos mecânicos ou a injúrias de pragas ou patógenos (Kresdorn, 1986)
- A fixação final varia de 0,1 a 3,5 %
- Giberilinas podem aumentar a fixação em variedades partenocárpicas, tais como limão 'Tahiti' e tangelo 'Orlando'

Florada e pós-florada

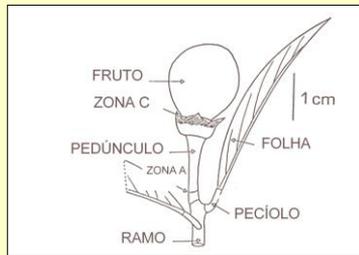


Aplicação de ácido giberélico nessas fases período aumenta fixação

31

32

Zonas de Abscisão



Zonas de abscisão de frutos. A zona A está localizada entre o ramo e o pedúnculo e a zona C entre o cálice e o fruto (Huberman et al., 1988)

Fixação de frutos de lima ácida Tahiti referente à florada principal

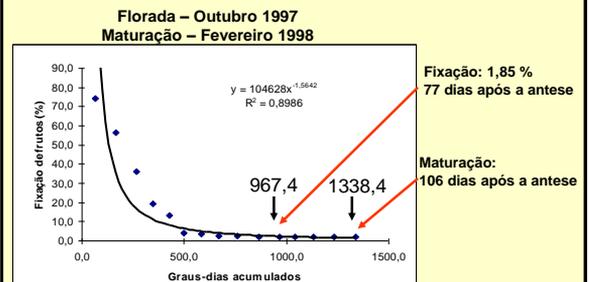


Diagrama de dispersão e função ajustada para a percentagem média de frutos em função dos Graus-dia acumulados. Piracicaba-SP, 1998. (Spósito et al., 2000)

33

34

Fixação de frutos de lima ácida Tahiti referente à florada secundária



Diagrama de dispersão e função ajustada para a percentagem média de frutos em função dos Graus-dia acumulados. Piracicaba-SP, 1998. (Spósito e Mourão Filho (2003)

35

Fixação de frutos em função da aplicação de ácido giberélico

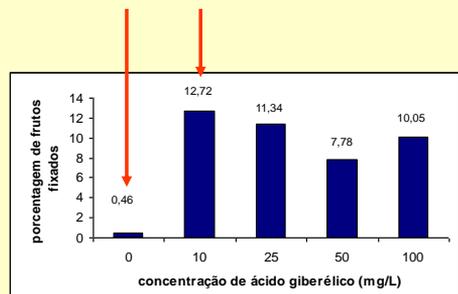


Diagrama de dispersão para as médias de percentagem de frutos fixados de limeira ácida 'Tahiti' em função das concentrações de ácido giberélico. Piracicaba-SP, 1998 (Spósito & Mourão Filho, 2003)

36

Fixação de frutos em função da aplicação de ácido giberélico

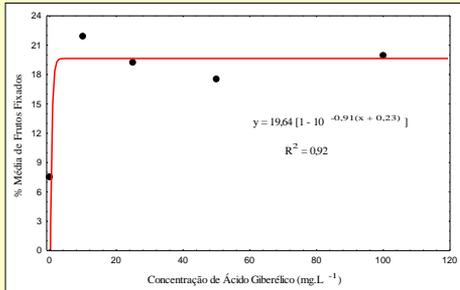


Diagrama de dispersão e função ajustada para médias de porcentagem de frutos fixados de laranja ácida 'Tahiti' em função das concentrações de ácido giberélico. Piracicaba-SP, 1998. (Spósito & Mourão Filho, 2003)

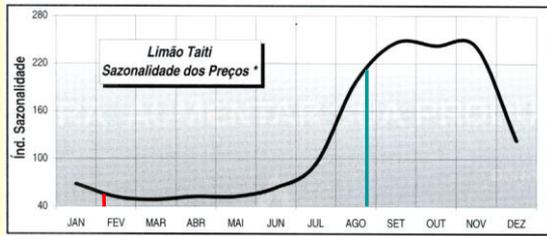
37

Frutos fixados com aplicação de ácido giberélico



38

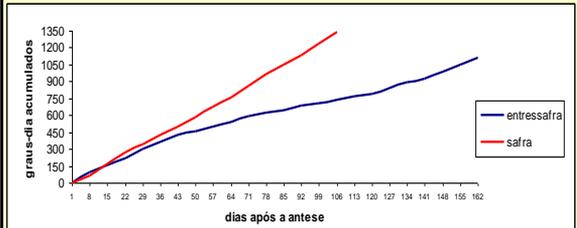
Sazonalidade de preços da lima ácida 'Tahiti' durante o ano



(FNP, 2001)
 — Época de colheita na safrinha
 — Época de colheita na entressafrinha

39

Graus-dias acumulados no período de safrinha e entressafrinha



Graus-dias acumulados para os períodos de safrinha (outubro/97 a fevereiro/98) e entressafrinha (março/98 a agosto/98), entre a antese e maturação de frutos de laranja ácida 'Tahiti'. Piracicaba-SP, 1998. (Spósito & Mourão Filho, 2003)

40

Florescimento x Produção X Qualidade (Tamanho dos frutos)

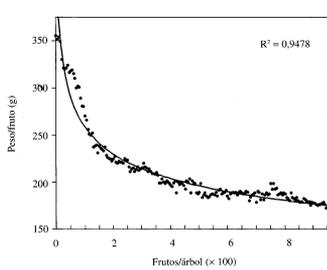


Figura 8.2. Relación entre el número de frutos por árbol y su tamaño individual en el naranjo dulce 'Navelina'.

41

Florescimento x Produção x Alternância

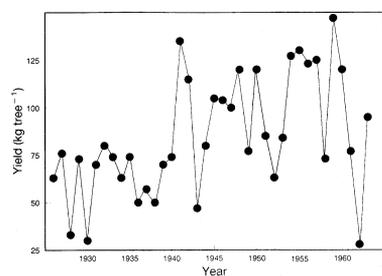


Fig. 3.6. Yields of 'Washington' navel in California over a 38-year period. Source: Jones and Cree (1965).

42

Anatomia de um fruto cítrico maduro

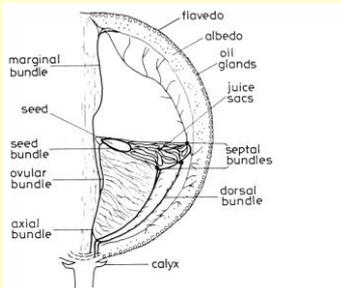


Figure 4.14 Schematic drawing of a mature citrus fruit emphasizing the vascular arrangement

43

Anatomia de um fruto cítrico maduro



Figure 4.13 Segments of mature pummelo (C. maxima) fruit. The segment to the left is intact. The skin of the segment to the right has been removed to show the juice sacs (x=10.6)



Figure 4.15 A longitudinal section of a mature fruit of Washington navel orange (C. sinensis) showing the navel at the stylar end (x=10.7)

44

FASES DE DESENVOLVIMENTO DOS FRUTOS CÍTRICOS

- 1ª fase:** *Divisão celular*
Determina o tamanho final
- 2ª fase:** *Diferenciação celular*
Vesículas de suco, albedo, flavedo
- 3ª fase:** *Crescimento celular*
Aumento de sólidos solúveis
- 4ª fase:** *Coloração*
Pouco aumento em sólidos solúveis
Rápida queda na % ácidos

45

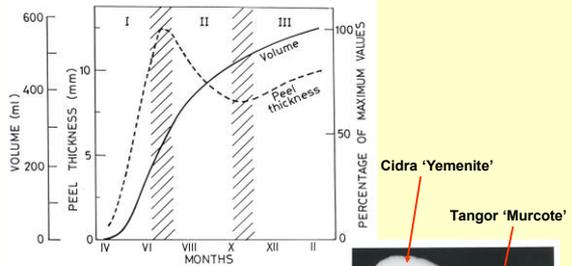


Figure 4.15 Fruit growth and development: growth in volume and peel thickness. I, II, III indicate developmental stages according to Baier (1958). Modified from Monestiez (1986)

Estágios de crescimento e desenvolvimento de frutos cítricos com ênfase ao volume do fruto e espessura da casca

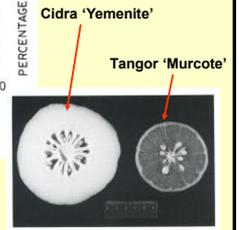


Figure 4.16 Close-up sections of mature fruit from three varieties, including Yemenite citron (C. medica) left and the parent Murcott tangor (right)

46

Evolução da maturação dos frutos cítricos (porcentagem de suco, sólidos solúveis, acidez e coloração)

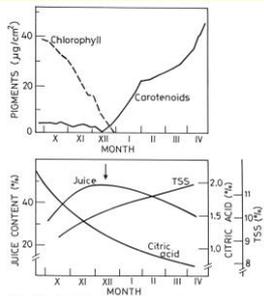


Figure 4.19 Major biochemical changes occurring during maturation of Washington navel orange (C. sinensis) (see text)

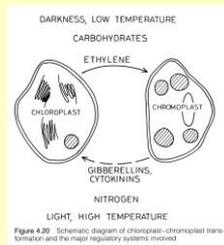


Figure 4.20 Schematic diagram of chloroplast-chromoplast transformation and the major regulatory systems involved

47

Taxa de crescimento dos frutos (volume) de laranja 'Valência' em climas tropicais e subtropicais

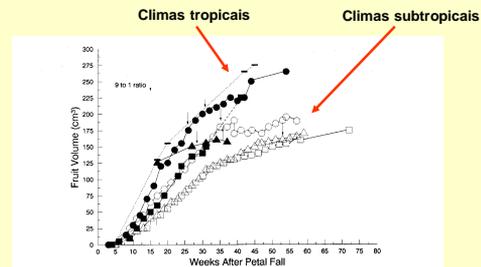
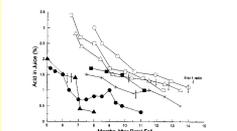
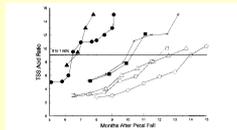
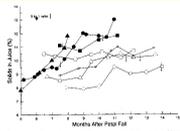


Fig. 3.7. Comparison of growth rates of 'Valencia' oranges in tropical and subtropical locations. The mid-bloom or 'zero' petal fall dates were estimated as follows: Δ, Riverside, 4 May 1961; ○, Indo, 6 April 1962; □, Santa Paula, 11 May 1964; ▲, Cartagena, about 25 June 1966; ■, Medellín, 20 January 1967. The Palmira data (●) are for the local cultivar 'Lerma' which appears to be a mid-season type. Source: Reuther and Rios-Castano (1969).

48

Evolução da maturação dos frutos de laranja 'Valência' em climas tropicais e subtropicais



49

INFLUÊNCIA DO CLIMA SOBRE A QUALIDADE DOS FRUTOS CÍTRICOS

Tamanho

↑ Umidade relativa → ↑ Tamanho
↑ Temperatura

Forma

↓ Umidade relativa → ↑ Frutos alongados
↑ Umidade relativa → ↑ Frutos arredondados

Aspecto

↑ Umidade relativa → ↓ Qualidade (fungos)
↑ Ventos → ↓ Qualidade (atrído)

50

INFLUÊNCIA DO CLIMA SOBRE A QUALIDADE DOS FRUTOS CÍTRICOS

Permanência na árvore

↓ Temperatura → 'Valência' (California) 4-5 meses
'Valência' (São Paulo) 3-4 meses

Coloração

↓ Temperatura → ↑ Coloração (Laranjas Sanguíneas)
(caroteno e antocianina)

↑ Temperatura → ↑ Coloração (Pomelos)
(licopeno)

51

INFLUÊNCIA DO CLIMA SOBRE A QUALIDADE DOS FRUTOS CÍTRICOS

Espessura da casca

↑ Umidade relativa → ↑ Casca fina
↑ Temperatura

Óleo da casca

↑ Temperatura → ↓ Óleo
↓ Insolação
↓ Umidade relativa

Açúcares e ácidos

↑ Temperatura → ↑ Açúcares → Maturação precoce
↓ Ácidos
↑ Luminosidade → ↑ Açúcares

Vitamina C

↑ Luminosidade → ↓ Vitamina C

52