



ASPECTOS MODERNOS DO MANEJO DOS CITROS

FLORESCIMENTO, PODAS DOS CITROS E SAF FRACTAIS (ARBORIZAÇÃO)

CAMILO LÁZARO MEDINA
JOHANN HILLER HERNÁNDEZ

PAULO R. CAMARGO E CASTRO
ARTUR BERNADELI NICOLAI

ESALQ/USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”

ASPECTOS MODERNOS DO MANEJO DOS CITROS:
FLORESCIMENTO, PODAS DOS CITROS E SAF FRACTAIS
(ARBORIZAÇÃO)

DOI: 10.11606/9786587391823

CAMILO LÁZARO MEDINA

Engenheiro Agrônomo pela ESALQ/USP, M.S. em Fisiologia e Bioquímica de Plantas
pela ESALQ/USP e Doutorado em Biologia Vegetal pela UNICAMP

PAULO ROBERTO DE CAMARGO E CASTRO

Engenheiro Agrônomo, M.S., Doutor em Agronomia, Professor Adjunto, Livre Docente e Professor
Titular da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo,
Piracicaba, S.P.

JOHANN HILLER HERNÁNDEZ

Graduação em Química (University of Tübingen - Alemanha), M.S. em Fisiologia e Bioquímica de
Plantas pela ESALQ/USP)

ARTUR BERNARDELI NICOLAI

Engenheiro Agrônomo pela UNESP, M.S., Doutorando em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela
ESALQ/USP

Piracicaba
2025

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor - Prof. Dr. Carlos Gilberto Carlotti Junior

Vice-reitora - Profa. Dra. Maria Arminda do Nascimento Arruda

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”

Diretora - Profa. Dra. Thais Maria Ferreira de Souza Vieira

Vice-diretor - Prof. Dr. Marcos Milan

Catálogo na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Aspectos modernos do manejo dos citros: florescimento, podas dos citros e SAF fractais
(arborização) [recurso eletrônico] / Camilo Lázaro Medina. -- [et al.]. -- Piracicaba :
ESALQ, 2025.

67 p. : il.

ISBN: 978-65-87391-82-3

DOI: 10.11606/9786587391823

1. Citros 2. Regulador vegetal 3. Florescimento 4. Poda 5. Sistemas agroflorestais
I. Medina, C. L. II. Castro, P. R. de C. e III. Hernández, J. H. IV. Nicolai, A. B. V. Título

CDD 634.3

Elaborada por Maria Cristina Moura Rocha de Andrade - CRB-8/3576

Esta obra é de acesso aberto. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e a autoria e respeitando a Licença Creative Common



SUMÁRIO

	FLORESCIMENTO DOS CITROS.....	5
1.	Histórico.....	5
2.	Processo fisiológico.....	6
3.	Genética molecular.....	9
4.	Condições climáticas e indução floral.....	13
5.	Sinalização endógena.....	15
6.	Ação do anelamento.....	16
7.	Regulação hormonal endógena.....	17
8.	Controle exógeno da floração com biorreguladores.....	22
9.	Ação do déficit hídrico.....	23
10.	Considerações Finais.....	25
	Referências.....	25
	PODA DOS CITROS.....	33
1.	Podas em fruteiras.....	33
2.	Podas em citros.....	34
	Referências.....	38
	SAC FRACTAIS (ARBORIZAÇÃO).....	39
1.	Colhendo o sol.....	39
2.	Agricultura e balanço do carbono.....	42
3.	Arborização e pleno sol.....	44
4.	Energia e balanço de carbono.....	47
5.	Sistemas agroflorestais.....	52
6.	SAFs Fractuais para alta produtividade.....	56
	Referências.....	65

FLORESCIMENTO DOS CITROS

1. Histórico

A fisiologia do florescimento das plantas cultivadas foi muito pesquisada por Chailakhyan, na Rússia, a partir da década de 30. Estabeleceu um sistema de floração que envolvia a necessidade de giberelinas em plantas de dias longos (que continham antesinas) e a necessidade de antesinas em plantas de dias curtos (que continham giberelinas). Em colaboração com Frolova e Anton Lang enxertaram plantas de tabaco de dias longos (DL) e de dias curtos (DC) em uma variedade de dias neutros (DN) e as cultivaram sob diversas condições fotoperiódicas. Ao mantê-las sob DC, a parte do enxerto do DC fez com que as plantas de DN florescessem antes; ao expô-las em DL a parte de DL também promoveu florescimento precoce da parte de DN. Esses resultados confirmaram a presença de uma substância de florescimento que se translocou, induzindo a floração.



Figura 1 - Mikhail Khristoforovich Chailakhyan

Finogina, Bavrina e Chailakhyan (1990) demonstraram em plantas de tabaco 'Trapezond' *in vivo* e em gemas *in vitro* que as gemas florais diferem das gemas vegetativas não somente na presença de proteínas específicas para gerar órgãos,

mas também em maior conteúdo de uma proteína comum em todos os órgãos aéreos da planta.

Esse trabalho, porém, foi desenvolvido após Wardell e Skoog (1973) assumir que o fator indutor do florescimento é o DNA, sendo que o DNA nas hastes de plantas floríferas de tabaco Wis.38 difere do DNA das hastes de plantas vegetativas. Nessa abordagem considerou-se que uma solução de DNA aquecida e resfriada das hastes de plantas floríferas pode conter uma fração concentrada da fração de DNA rapidamente resaturada que não é concentrada em uma solução aquecida e resfriada de DNA originária de hastes de plantas vegetativas. Assim, o rapidamente resaturado DNA de hastes de plantas floríferas mostra ser uma substância indutora do florescimento.

2. Processo fisiológico

A partir da extensa bibliografia sobre o processo de florescimento das plantas estabelecemos um esquema sequencial da ocorrência de diversas fases dentro desse processo: Fotoperiodismo determina o florescimento das plantas, que podem ser de dias curtos (DC) como a cana-de-açúcar, intermediárias e de dias longos (DL). A relação entre o comprimento do dia e principalmente o comprimento da noite, é captada pelos pigmentos foliares (fitocromos) que se modificam e desencadeiam a cascata da floração. Por isso, no outono as folhas alteram sua pigmentação antes de iniciarem a senescência e caírem. Isso estabelece um alto nível de fitocromo ativo que determina modificações nos processos metabólicos e níveis hormonais; o que controla a síntese ou ativação de um complexo translocável à região apical da planta (florigeno). No ápice, provoca a iniciação do primórdio floral, o desenvolvimento dos botões florais e das flores. Em todo esse processo pode ocorrer interferência da temperatura, do déficit de água e da vernalização em algumas espécies. Também uma atividade metabólica dependente do fotoperíodo e o aparecimento de um novo DNA, ainda atuam no processo da floração (Figura 2). Como verificamos acima, o enigma do florescimento espera ser ainda esclarecido pela biologia molecular.

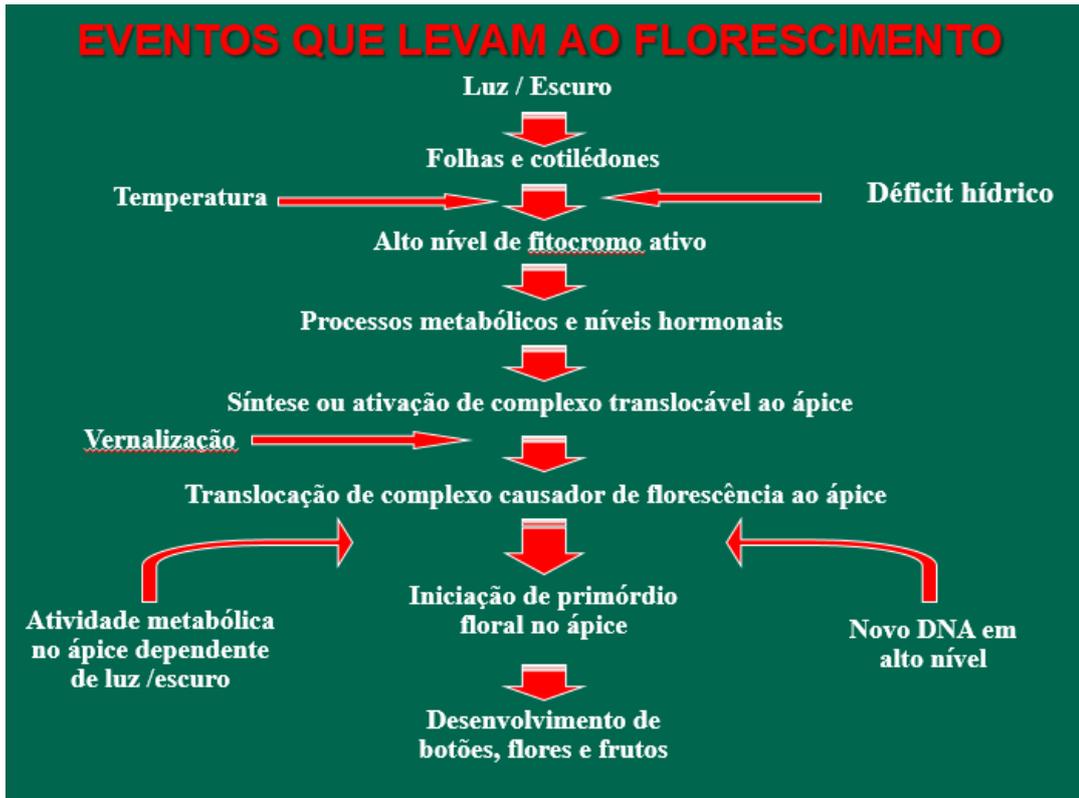


Figura 2 - O processo do florescimento (Castro *et al.*, 2005)

A transição floral é uma das mais drásticas mudanças que ocorrem durante o ciclo da planta. O meristema apical do ramo se altera a partir da produção de folhas, em associação de meristemas secundários, para produção do meristema floral. Essa transição é abrupta e geralmente irreversível, sugerindo que é determinada por um robusto sistema regulatório gênico capaz de provocar severas transições. O momento em que essa transição ocorre, é precisamente determinada por sinais do ambiente e da planta.

As árvores cítricas constituem uma espécie lenhosa perene que pode florescer uma ou várias vezes ao ano em climas tropicais e subtropicais, de acordo com Dornelas, Camargo, Berger *et al.* (2007a). A floração marca o início da fase reprodutiva, a partir da qual a fixação bem-sucedida pode desenvolver um novo fruto com sementes viáveis, permitindo que essas árvores tenham mais gerações. Os cítricos podem ter até 250.000 flores por árvore, mas geralmente, no máximo 1% será transformado em uma fruta de sucesso (Goldschmidt; Monselise, 1977). As gemas em repouso permanecem indiferenciadas entre os tecidos vegetativo e reprodutivo até o início da brotação das gemas (Guardiola, 1997). Para que esses

botões se tornem estruturas reprodutivas, é necessário que haja um sinal interno na planta que marque o início do caminho reprodutivo, possivelmente levando a uma flor adulta. Esse processo é chamado de indução da floração e é o primeiro estágio do desenvolvimento da flor. A indução floral tem sido amplamente estudada e analisada para diversos cultivares cítricos em todo o mundo, sendo de extrema importância pelo simples fato de que sem flor não há fruto. Para alcançar uma grande produção de frutos, as árvores precisam florescer o suficiente e no tempo certo (Nishikawa, 2013).

A indução floral é regulada naturalmente pelo frio e pelo estresse hídrico, dependendo da região onde é plantada (Iglesias *et al.*, 2007). Esta indução geralmente ocorre 2-3 meses antes da diferenciação da flor, que é o processo no qual um novo botão é determinado a se transformar em uma inflorescência, seguido por um processo de crescimento passo a passo dos diferentes tecidos da flor (Agustí *et al.*, 2022).

Quando um sinal de floração é recebido no meristema, uma série de genes é ativada para iniciar a síntese do novo órgão. O padrão de ativação gênica foi descrito por Coen e Carpenter (1992) e é conhecido como esquema "abc". Este modelo foi proposto após o reconhecimento de um padrão de mutações florais já relatado pelo poeta alemão Johann Wolfgang von Goethe. O modelo segue a lógica de um grupo de "notas de um piano", que devem ser tocadas uma após a outra. A nota 'a' é o verticilo mais externo da flor, as sépalas. As notas 'a' e 'b' são então tocadas juntas formando as pétalas, as notas 'b' e 'c' formam os estames e a nota 'c' sozinha origina os carpelos (Figura 3).

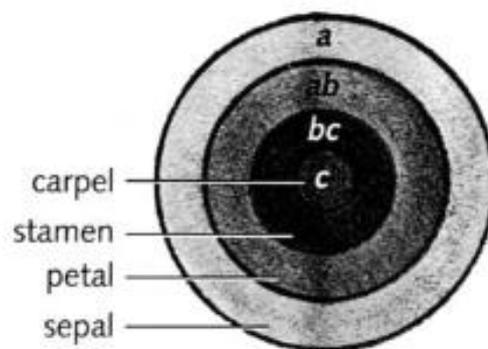


Figura 3 - Esquema abc (Adaptado de Coen, 2001)

Albrigo e Saúco (2004) estabeleceram que a produção de fruteiras é determinada principalmente pela intensidade do florescimento e subsequente fixação de frutos originários dessas flores. O processo de indução da gema floral é seguido pela diferenciação de expansão floral, precedendo a antese. O processo subsequente de fixação do fruto envolve geralmente dois períodos de queda, um na florada e outro algumas semanas mais tarde, quando a entrada de carboidratos no fruto é reduzida, e o excesso de frutinhas se desprende. As condições climáticas (baixas temperaturas e déficit hídrico), além da idade e vigor da árvore, são geralmente associadas com o processo de indução floral, enquanto estresse climático e limitações internas, como falta de polinização, níveis hormonais adversos, ou competição por carboidratos e/ou nutrientes, podem levar a uma baixa fixação de frutos (queda fisiológica).

3. Genética molecular

Pretendemos dar uma visão dos aspectos genéticos e fisiológicos da floração de plantas cítricas, enfocando a indução da floração através das lentes desses aspectos. O leitor deverá, então, compreender melhor essas características de acordo com as pesquisas atualizadas disponíveis e reconhecer as tendências atuais, tendo uma melhor compreensão dos mecanismos que ocorrem dentro da planta. Uma melhor visão dos diferentes processos envolvidos na floração dos citros também deve ajudar os produtores dessas frutas, que já sofreram grandes perdas nos últimos anos devido a doenças, especialmente a Huanglongbing (HLB) ou greening dos citros em países como EUA e Brasil (Singerman *et al.*, 2021).

O trabalho realizado por Dornelas *et al.* (2007) apresentou uma estrutura inicial de um sistema genético contendo os elementos moleculares de controle do florescimento em sete espécies cítricas. Nestas, processos de vernalização, resposta ao fotoperíodismo e controle da floração pelo ácido giberélico devem ser considerados.

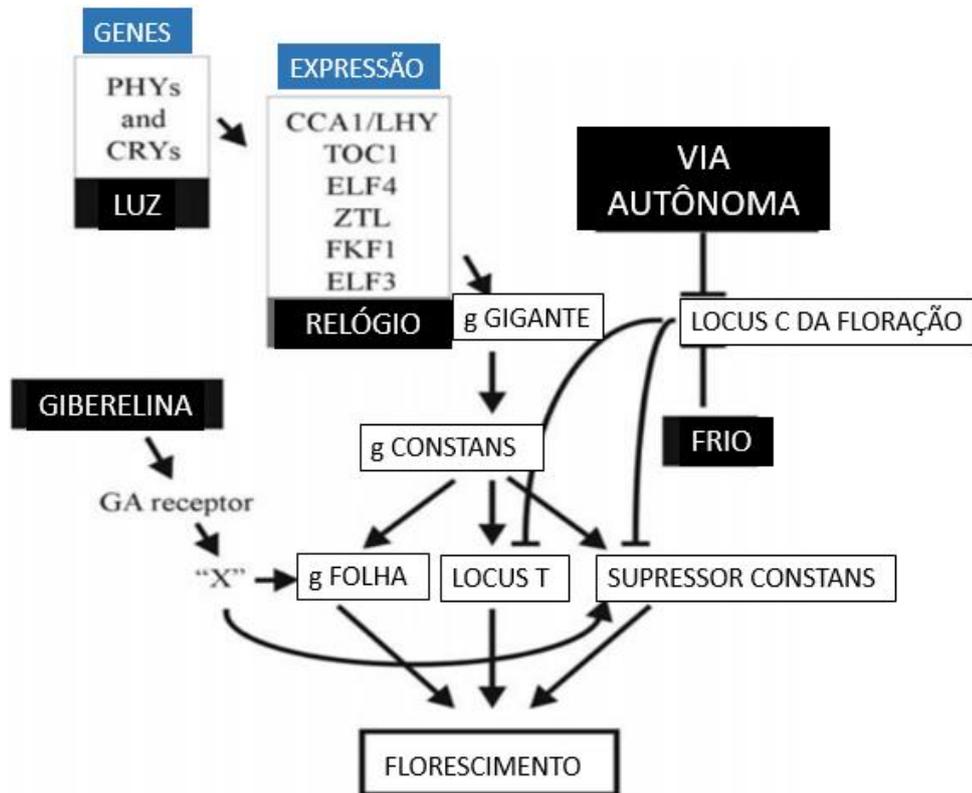


Figura 4 - Modelo do processo de florescimento (Adaptado de Dornelas *et al.*, 2007)

Na Figura 4, verificamos que genes relacionados com os fitocromos e os criptocromos são receptores de luz capazes de levar a associação com o relógio circadiano, relacionado com a expressão de diversos processos fisiológicos, sendo que a partir dos mesmos expressam genes controladores do ciclo circadiano (g GIGANTE) que regulam o florescimento fotoperiódico, sendo que induz o g CONSTANS, gene que promove o florescimento e decodifica uma proteína similar a fatores de transcrição. Este último se relaciona com três sistemas: g FOLHA (gene foliar), LOCUS T (gene que funciona como potencial florígeno) e o SUPRESSOR CONSTANS (supressor da superexpressão do gene que codifica uma proteína que contém papel essencial para respiração celular). Esses três genes citados se relacionam com o processo de florescimento. Além disso, é possível observar que a giberelina se liga a um receptor que está relacionado com um fator indutor de g FOLHA e do SUPRESSOR CONSTANS, responsáveis pelo florescimento. Devemos considerar ainda que uma via autônoma em que o LOCUS C DA FLORAÇÃO liga e reprime o LOCUS T e o SUPRESSOR CONSTANS, ambos promotores do florescimento.

Dornelas *et al.* (2007) relataram que os genes de floração de *A. thaliana* pareciam ser conservados em citros, trazendo um trabalho inovador na descoberta dos análogos FT e SOC1. Pesquisa realizada em tangerina ‘Satsuma’ (*Citrus unshiu* Marc.) reconheceu três transcritos FT do AtFT analógico, o CiFT (Nishikawa *et al.*, 2007). Eles eram CiFT1, CiFT2 e CiFT3, enquanto CiFT1 e CiFT2 pareciam compartilhar mais de 95% de sua sequência de aminoácidos de acordo com os autores. Dois análogos do tipo SOC1, CsL1 e CsL2, também foram encontrados para *C. sinensis* (Tan; Swain, 2007). Estes foram encontrados usando reações RT-PCR e foram confirmados pelo cultivo de mutantes *soc1* de *Arabidopsis* desses genes complementados com os análogos mencionados. Pillitteri *et al.* (2004) forneceram um avanço surpreendente em genes de floração cítrica ao encontrar os homólogos LFY e AP1 em laranjeiras ‘Washington Navel’ (*C. sinensis* L. Osbeck). Neste experimento, plantas de *Arabidopsis* com CsLFY expresso ectopicamente e CsAP1 floresceu muito mais cedo do que o tipo silvestre (WT), semelhante a plantas superexpressando seus próprios homólogos.

Abordagens de genética molecular têm sido relacionadas com cítricos com base em estudos de genes relacionados com a floração em *Arabidopsis*. Nesta planta teste a proteína que codifica o gene relacionado com o florescimento – flowering locus (FT), possui uma importante função na promoção da florescência. De forma similar, o ortólogo do FT dos citros (CiFT), confirmou-se atuar no florescimento da planta de citros. Nos estudos com plantas transgênicas, o vetor de co-expressão CiFT tem sido utilizado para diminuir a fase juvenil da espécie. Além disso, a expressão endógena CiFT pode regular a indução floral (Nishikawa, 2013).

Nos últimos 20 anos, houve um crescimento constante da pesquisa sobre os genes envolvidos no processo de floração. A maior parte do trabalho realizado na identificação dos genes de floração foi feito em plantas de *Arabidopsis thaliana*, sendo que seu genoma foi completamente codificado (Nishikawa, 2013). *A. thaliana* é a planta modelo para estudos no esforço de entender como as plantas funcionam e como seus genes interagem durante esses processos devido a um genoma curto, além de um ciclo de vida relativamente restrito (Koornneef; Meinke, 2010).

Em relação ao esquema “abc” de Coen, descobriu-se posteriormente que os genes que codificam para a organogênese da flor de *Arabidopsis* eram AP1 e AP2 para 'a', AP3 e PI para 'b' e AG para 'c' (Irish, 2017). Uma parte desses genes também foi discutida em um workshop sobre floração em 1991 (King, 1991). No

entanto, um foco maior tem sido direcionado aos genes que codificam a indução floral. Nesse sentido, o *FLOWERING LOCUS T (FT)* foi confirmado como o principal gene na indução floral no final do século passado (Kobayashi *et al.*, 1999). Este gene codifica para a proteína FT, que tem sido amplamente aceita como o principal ou único componente do chamado florígeno, o “Santo Graal” da fisiologia da floração (Zeevaart, 2008), tendo sido de grande interesse por mais de 80 anos (Chailakhyan, 1937; Cleland, 1978).

De acordo com Zeevaart (2008), o AtFT O gene é expresso na folha por indução, que produz a proteína que se move pelo floema da folha, atingindo o meristema, ligando-se ao fator de transcrição *FLOWERING LOCUS D (FD)*. Este complexo ativa o SOC1 e o AP1, que regulam o tempo de floração e a identidade do meristema floral, respectivamente (Figura 5).

Outro gene chave mencionado na integração da via de floração é o LFY. Este gene também regula a identidade do meristema floral, que por sua vez, juntamente com SOC1, AP1 e FT reprimem o repressor de floração *FLOWERING LOCUS C (FLC)* (Moon *et al.*, 2005).

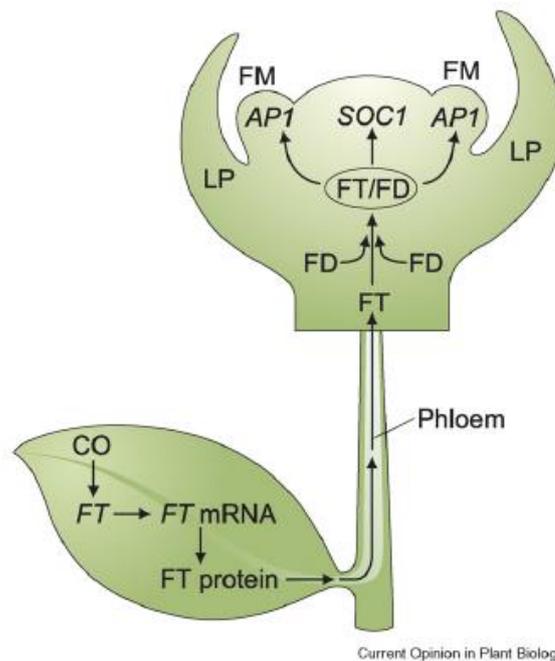


Figura 5 - Via da indução floral (Adaptado de Zeevaart, 2008)

Da mesma forma, nos cítricos o homólogo do FLC que codifica para a repressão da floração foi encontrado na laranjeira trifoliolada (*Poncirus trifoliata* L.

Raf) isolando uma *P. trifoliata* de floração precoce mutante (Zhang *et al.*, 2009). Testes de RT-PCR das plantas ao longo das diferentes estações do ano mostraram que esse gene foi altamente expresso durante o inverno, enquanto a expressão foi baixa durante o verão e a primavera, lançando luz sobre o mecanismo de floração de plantas perenes como as do gênero *Citrus*.

A juvenilidade dos citros é causada pela supressão do florescimento em plantas novas, e alternância na floração pode resultar na supressão da florescência pela produção tardia de frutos. Essa juvenilidade foi utilizada no melhoramento genético da soja pelo Dr. Romeu Kiihl, no IAC, para possibilitar a expansão do plantio da leguminosa de DC por todo o Brasil.

Abordagens de genética molecular têm sido relacionadas com cítricos com base em estudos de genes relacionados com a floração em *Arabidopsis*. Nesta planta teste a proteína que codifica gene relacionado com o florescimento – *flowering locus* (FT), possuem uma importante função na promoção da florescência. De forma similar, o ortólogo dos citros do FT (Ci FT), confirmou-se atuar no florescimento dos citros. Nos estudos com plantas transgênicas, o vetor de co-expressão Ci FT tem sido utilizado para diminuir a fase juvenil da espécie. Além disso, a expressão endógena Ci FT pode regular a indução floral (Nishikawa, 2013).

Southwick e Davenport (1986) consideraram que o florescimento dos citros pode ser induzido por baixas temperaturas ou déficit hídrico e inibido pela aplicação de giberelina. A regulação da floração pelo estresse hídrico não é comum em árvores e é geralmente considerada eficiente em espécies tropicais e subtropicais.

Plantas de limão 'Tahiti' pré-condicionadas na capacidade de campo do solo por trinta dias, podem ser severamente estressadas por seca por um período de quatorze dias, obtendo-se uma consistente indução floral. Essa resposta parece ser dependente do tempo em que foi submetida às condições de déficit moderado de água e baixa temperatura. Entretanto, considerou-se que as folhas não se mostraram essenciais para a indução floral em limão 'Tahiti' (Southwick; Davenport, 1986).

4. Condições climáticas e indução floral

É amplamente conhecido que certa quantidade de horas com temperaturas abaixo de um limiar induz a formação de botões reprodutivos em uma grande variedade de plantas. Esse processo é chamado de vernalização e vem da palavra

latina *vernum*, que significa primavera (Chouard, 1960). Assim como no caso do florigeno, pensava-se que existia uma substância que induzia a floração pela exposição ao frio, chamada vernalina (Tanimoto; Harada, 1985). Provavelmente o estresse hídrico induz a floração, especialmente em plantas cultivadas em partes do globo onde as temperaturas não caem tanto quanto em climas temperados (Salter; Goode, 1967).

Em citros, tem havido extensa pesquisa sobre os efeitos da vernalização no desenvolvimento da flor. As baixas temperaturas provocam a dormência das gemas, que brotam quando surgem temperaturas mais altas no final da estação fria (Guardiola, 1997). Além disso, segundo o mesmo autor, um processo ainda mais importante do que a quebra da dormência das gemas é a indução da formação de flores. Experimentos *in vitro* mostram que a dormência das gemas é fraca e facilmente quebrada, enquanto as gemas da tangerineira 'Satsuma' mantidas em temperaturas entre 25° e 13°C mal floresceram, necessitando de uma menor temperatura para ocorrer a formação das flores (Guardiola, 1997). A importância das temperaturas frias (abaixo de 20°C) também foi confirmada por Albrigo e Saúco (2002) para indução de flores em climas subtropicais. Um estudo realizado com limão 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) mostrou maior taxa de floração dessas árvores quando expostas a baixas temperaturas por apenas duas semanas (Southwick; Davenport, 1986). Um estudo mais específico de expressão genética realizado em tangerineiras 'Satsuma' expostas a baixas e altas temperaturas mostrou que o homólogo cítrico FT (CiFT) foi mais expresso durante a estação fria, bem como na exposição a baixas temperaturas em condições de laboratório (Nishikawa *et al.*, 2007). Elas ficaram expostas por até dois meses a 15°C com uma clara correlação entre o tempo que as árvores ficaram expostas a essa temperatura e o número de flores observadas após o forçamento. Conforme mencionado anteriormente, FT codifica uma proteína que ativa um mecanismo de indução de flor no meristema (Figura 5).

Em áreas de clima tropical, as temperaturas geralmente não atingem o limiar necessário para induzir a floração por vernalização, no entanto, as plantas cítricas ainda conseguem florescer e frutificar nesses climas. A razão indutora de flores não é uma baixa temperatura, mas o estresse hídrico (Nishikawa, 2013). Este tipo de estresse tem um efeito sobre a floração semelhante ao das baixas temperaturas, existindo uma relação quantitativa entre o tempo suportado com este estresse e o

número relativo de flores (Guardiola, 1997). O estresse hídrico pode induzir as árvores cítricas a florescer várias vezes ao ano (Albrigo; Saúco, 2002), mas também faz com que as árvores tenham um rendimento geral menor devido à redução da taxa fotossintética, causada pelo fechamento dos estômatos (García-Tejero *et al.*, 2012). Vários estudos realizados em condições de estresse hídrico têm mostrado seu impacto na indução da floração nos citros. No estudo realizado em limoeiros 'Tahiti' por Southwick e Davenport (1986) mencionado acima, as árvores foram induzidas a estresses hídricos tão baixos quanto -3,5 MPa por 4 a 5 semanas. Essas árvores apresentaram um aumento significativo no número de flores em comparação com aquelas não estressadas, alcançando os mesmos resultados das baixas temperaturas. Um estudo realizado com laranjeiras 'Valencia' e tangor 'Ellendale' (*C. reticulata* Bl.) determinou um aumento drástico no número de flores em ambos os cultivares, com a laranja 'Valencia' apresentando até 55% mais flores do que o tangor 'Ellendale' (Manzi *et al.*, 2015). O estresse hídrico ($\Psi_w < -4,0$ MPa) foi mantido por 70 dias, o que também levou à diminuição da taxa fotossintética. Em outro estudo feito com cultivares de pomelo (*Citrus grandis*), plantas sob estresse hídrico também apresentaram maior floração relativa, com aumento dos níveis de CiFT mRNA, significando que esse gene foi mais expresso do que em plantas não estressadas (Thammatha *et al.*, 2021). Um estudo, no entanto, relatou a ocorrência de menor número de botões florais em mandarinas 'Satsuma' sob estresse hídrico severo (Koshita; Takahara, 2004). Considerou-se que esse resultado inesperado pode ser devido ao uso de porta-enxertos diferentes dos outros estudos, sendo que alguns porta-enxertos possuem maior tolerância ao estresse hídrico do que outros.

5. Sinalização endógena

A frutificação pode reprimir a floração nas plantas enquanto elas ainda estão presas à árvore (Guardiola, 1997). O efeito inibitório é maior durante os meses de outono (período de indução de flores), quando o fruto ainda não atingiu a maturidade. Guardiola (1997) realizou dois experimentos em laranjeiras 'Navelina' (*C. sinensis* (L.) Osb.), onde mostrou que a brotação de gemas (e consequentemente a formação de flores) era proporcionalmente menor com maior carga de frutos nos ramos. Nishikawa (2013) reuniu um grupo de experimentos de expressão gênica em quatro diferentes variedades cítricas, cada uma delas mostrando que a expressão de CiFT estava inversamente correlacionada com a

carga de frutos, confirmando as observações de Guardiola (1997) mencionadas acima. Deve-se notar que a aparente supressão da expressão de CiFT é limitada aos locais do ramo onde os frutos estão mais próximos. Em um dos experimentos mencionados por Nishikawa (2013), o efeito dos frutos que ainda estão na árvore e sua correspondente supressão do gene da floração foi considerada como uma das razões pelas quais a produção alternada ocorre em citros (Munoz-Fambuena *et al.*, 2011). Portanto, a época da colheita dos frutos é de extrema importância para uma boa floração, sendo quanto mais cedo melhor.

6. Ação do anelamento

O anelamento de uma árvore ou ramo autônomo causa um acúmulo nos níveis de carboidratos na parte aérea que, de outra forma, iriam para a raiz. A expressão de genes responsáveis pelo acúmulo de açúcar e formação de amido é regulada positivamente por meio desse processo, como mostrado em um estudo com tangerina 'Murcott' (*Citrus reticulata*), segundo Li *et al.* (2003). O anelamento é uma maneira eficaz de estimular a produção de flores na planta e tem sido constantemente usado ao longo do tempo em frutas cítricas e também em muitas outras árvores frutíferas, como as videiras (Agusti *et al.*, 1992). Tem sido proposto que esse acúmulo de carboidratos seja o agente causador de um maior número de flores pelo anelamento, pois há maior disponibilidade de açúcares para formar novos tecidos nos ramos (Goldschmidt *et al.*, 1985). No entanto, essa afirmação não foi confirmada, faltando provas sólidas dessa hipótese. Consideramos que a possibilidade da síntese de etileno nas lesões das áreas aneladas pode estar relacionada com a presença desse hormônio envolvido com a floração. Foi efetuado um experimento com tangerinas 'Satsuma' aneladas sombreando algumas delas (levando a menores concentrações de carboidratos) e comparando-as com as não sombreadas (Garcia-Luis *et al.*, 1995). Não foi encontrada diferença significativa no número de flores nas plantas sombreadas, embora a concentração de carboidratos tenha sido muito maior nas plantas não sombreadas, mostrando uma falta de proporcionalidade entre floração e acúmulo de carboidratos. Outro estudo realizado com laranjeiras 'Salustiana' doces aneladas não mostrou nenhum papel regulador do teor de carboidratos nas árvores com relação ao seu florescimento (Monerri *et al.*, 2011). Foram aneladas uma série de árvores 'ON' e 'OFF', que é uma maneira comum de nomear as árvores que estão passando por um ano com floração intensa

e baixa e carga de frutos, respectivamente. Ainda é importante considerar que a depleção de carboidratos pela carga pesada de frutas tem um efeito negativo na floração. Um experimento com diferentes variedades cítricas com o inibidor de giberelina, Paclobutrazol, que normalmente promove a floração inibindo esse hormônio, mostrou que seu efeito foi anulado quando as árvores possuíam muitos frutos (Martínez-Fuentes *et al.*, 2013). Certa quantidade de açúcar é necessária para formar os botões florais que levarão a uma floração bem-sucedida.

O estresse provocado por anelamento profundo no caule das mudas de citros 'Valência Americana' causou lesão mecânica que levou a danos nas membranas com conseqüente síntese de ácido linolênico, e conseqüente produção de jasmonatos, que aumentam a expressão da ACC oxidase, enzima formadora do etileno (C₂H₄), hormônio gasoso envolvido no processo de floração das plantas.

Apesar de se considerar o anelamento convencional de ramos dos citros possa aumentar a disponibilidade dos carboidratos na área da copa da árvore acima do anelamento, e esses carboidratos possam induzir maior florescimento, no caso das mudas aneladas profundamente, tivemos restrição no acúmulo de carboidratos, uma vez que as plantas se mostraram descoloridas, mas houve significativo aumento da floração (Figura 8).

Deste modo, não somente o acúmulo de carboidratos acima dos anelamentos é responsável pelo aumento do florescimento e da produção de frutos, também a lesão induzida pelo dano pode levar a esses processos fisiológicos.

7. Regulação hormonal endógena

Os biorreguladores no interior da planta também têm funções diferentes na promoção e inibição da floração. Esses hormônios desempenham um papel fundamental na interação entre si e, assim, sinalizam à planta que é hora de passar do estágio vegetativo para o reprodutivo (Campos-Rivero *et al.*, 2017). Como já mencionado anteriormente, Chailakhyan (1937) trouxe o conceito do florígeno como um regulador vegetal que induz a floração. Ele mostrou evidências de uma substância que é transmissível por enxertia de planta para planta, e que provavelmente não era apenas uma molécula, mas três, como muitos outros reguladores vegetais (Chailakhyan, 1971). Outro estudo descreveu que extratos aquosos de uma série de plantas também induziram a floração em outras espécies, mostrando a natureza universal desse florígeno (Kaihara *et al.*, 1989). Chailakhyan e

seus colaboradores também descobriram que havia um grupo de proteínas que tinham diferentes concentrações durante a indução da floração em plantas de tabaco (Finogina *et al.*, 1990), provavelmente uma delas sendo a proteína FT discutida anteriormente.

Um grupo desses reguladores são as auxinas, sendo o ácido indolilacético (IAA) o principal, em plantas superiores (Zhao, 2010). As auxinas desempenham um papel na resposta da planta à luz, no fototropismo e na dominância apical (Cline; Wessel, 1996). Segundo Zhao (2010), a biossíntese de auxinas no interior da planta é objeto de estudo, incluindo os genes nela envolvidos. Ao contrário de sua síntese, a função de sinalização e transporte na planta tem sido amplamente estudada e descrita, inclusive sua aplicação exógena (Vanneste; Friml, 2009). No contexto da floração, o IAA foi relatado como um importante hormônio vegetal na resposta à vernalização (Liang *et al.*, 2018) em espécies cítricas. Experimento realizado em tangerineiras 'Satsuma' mostrou que houve um aumento no teor de IAA em plantas aneladas durante o período de indução (dezembro no hemisfério norte), sugerindo que poderia haver um possível papel dessa auxina no processo de floração (Koshita *et al.*, 1999). Estudo realizado com tangerineiras 'Murcott' trouxe evidências de que, após a remoção dos frutos, os níveis de IAA diminuíram no meristema apical (Haim *et al.*, 2021). Os autores relataram anteriormente a mesma diminuição nos níveis de IAA nas gemas, propondo, portanto, que as auxinas afetam o sinal AB, que bloqueia a percepção de clima frio em anos de produção alternada durante os anos *OFF* mencionados acima (Shalom *et al.*, 2014). Conforme verificado anteriormente, as baixas temperaturas induzem a floração em muitas espécies.

Outro grupo de hormônios bastante estudado é o das giberelinas (GAs). Esse tipo de hormônio é responsável pela germinação das sementes, alongamento do entrenó e expansão das folhas, bem como pelo desenvolvimento de sementes, frutos e flores (Hedden, 1999). As vias de sua síntese têm sido bem estudadas, sendo que a maioria de seus genes codificadores já foi encontrada (Gallego-Giraldo *et al.*, 2008). Uma investigação mostrou que as GAs são cruciais para o desenvolvimento de flores em plantas de tabaco (Gallego-Giraldo *et al.*, 2007). A pesquisa foi feita com plantas mutantes deficientes em GA e também com Paclobutrazol, que inibe a giberelina como mencionado acima. Ambas floresceram muito mais tarde do que as plantas silvestres e não tratadas. O papel da GA endógena também foi estudado em citros. No mesmo experimento mencionado

acima por Koshita *et al.* (1999), quantificaram-se as concentrações de GA no outono. As brotações com menor número de inflorescências apresentaram concentrações de GA até três vezes maiores do que aqueles com grande carga de flores, levando a pensar que os GAs endógenos inibem a floração. Bernier e Kinet (1986) já descreveram que diferentes plantas tiveram uma reação contrária na presença de maiores concentrações endógenas de GA. Também foi relatado que GA é o sinal de inibição de flores produzido por frutas (Monselise; Goldschmidt, 1982), baseando-se no experimento com Paclobutrazol em diferentes variedades de citros (Martínez-Fuentes *et al.*, 2013).

O terceiro grupo principal de estimulantes vegetais são as citocininas (CKs). As CKs estão envolvidas em uma série de processos fisiológicos no interior da planta, como divisão celular, resposta ao estresse, crescimento de raízes e brotações, diferenciação de gemas e proliferação celular (Li *et al.*, 2021). A princípio, pensou-se que as plantas obtinham suas CKs de bactérias do solo, mas a via de biossíntese desses hormônios no interior da planta foi elucidada com seus genes (Uniyal *et al.*, 2022). No contexto da floração, as CKs têm sido caracterizadas como os componentes que regulam a fase em que a floração cessa e o crescimento vegetativo é retomado (Luo; Liu, 2022; Walker *et al.*, 2022). Os trabalhos mostraram várias análises genéticas que sustentam essa teoria. Em citros, há pouca informação disponível sobre os efeitos específicos das CKs endógenas. Num estudo *in vitro* efetuado com gomos de tangerina 'Satsuma', mostrou a necessidade de CK no meio de cultivo para o sucesso do desenvolvimento floral, além da necessidade de um ambiente indutor (baixas temperaturas e açúcares), de acordo com Garcia-Luis *et al.* (1989). Um estudo feito com laranjeiras 'Valencia Pickstone' analisou o conteúdo de CK nas raízes e na parte aérea de árvores jovens e adultas (Hendry *et al.*, 1982). Encontrou-se um maior teor de CK nas gemas dormentes das árvores mais jovens, sugerindo assim uma relação entre CKs e juvenilidade da árvore.

Um dos principais hormônios capazes de restringir o crescimento vegetal é o etileno (ET). ET é um gás constituído de dois carbonos e quatro hidrogênios e geralmente é ativado por condições de estresse (Khan *et al.*, 2015). O ET está relacionado com a sinalização do processo de senescência (cessação do crescimento celular), que envolve a abscisão de folhas e processos degradativos, tendo suas vias de sinalização descobertas em *Arabidopsis* (Kim *et al.*, 2015). Muito trabalho tem sido feito investigando sua biossíntese em plantas e cianobactérias,

com suas vias e ativação já sendo elucidadas (Fatma *et al.*, 2022). ET endógeno tem sido atribuído como um indutor de flores em espécies como *Guzmania lingulata*, com base em experimentos envolvendo inibidores de ET (como AVG) e sua incapacidade de florescer com ele (Dukovski *et al.*, 2006). O anelamento também induz a síntese de ET em árvores frutíferas, como mostrado em experimentos efetuados com mangueiras e pereiras, onde a produção de ET pelo fruto foi aumentada após o anelamento em comparação com o tratamento controle (Murayama *et al.*, 2006). Existe uma teoria que aponta para a síntese de ET como a principal razão para a indução de flores por anelamento em vez de acúmulo de carboidratos (como mencionado acima). Em citros, foram realizadas algumas investigações sobre a abertura e senescência de flores induzidas por ET endógeno (Zacarias *et al.*, 1991), mas não na promoção da floração (Agustí *et al.*, 2022). Dissertação apresentada na ESALQ/USP em 2024 possibilitou o estabelecimento de um provável processo desencadeado por anelamento em mudas cítricas ('Valência Americana') conforme apresentado na Figura 6.



Figura 6 - Lesão causada por um dano mecânico, com instrumento cortante, promovida no tronco de uma árvore, pode desencadear uma série de processos bioquímicos capazes de induzir o florescimento

Outro hormônio inibidor é o ácido abscísico (ABA). Muito parecido com ET, ABA é um sinal endógeno na planta em resposta a estresses abióticos (Popko *et al.*, 2010). O ABA também regula a síntese dos tecidos de armazenamento de sementes, incluindo proteínas e lipídios, bem como inibe a transição do crescimento vegetativo para o reprodutivo (Finkelstein *et al.*, 2002). O mecanismo de reação, as

partes da planta e os genes envolvidos foram descritos minuciosamente por Oritani e Kiyota (2003). Um estudo em flores de *Lillium* mostrou que o ABA acelera a senescência da flor (Arrom; Munne-Bosch, 2012). No entanto, a investigação em videiras revelou uma elevada acumulação de ABA nos ramos floridos, sendo sugerido como um marcador de floração (Koussa *et al.*, 2004). Na citricultura, foi feito um estudo em limoeiros 'Femminello' [*C. limon* (L.) Burm. f.] para entender os genes associados ao déficit hídrico como indutores florais (Li *et al.*, 2017). Com base em suas observações, propuseram que, em condições de déficit hídrico, ABA induziu maior expressão dos genes de floração discutidos previamente por meio de uma via de indução através da folha até o botão floral (Figura 7).

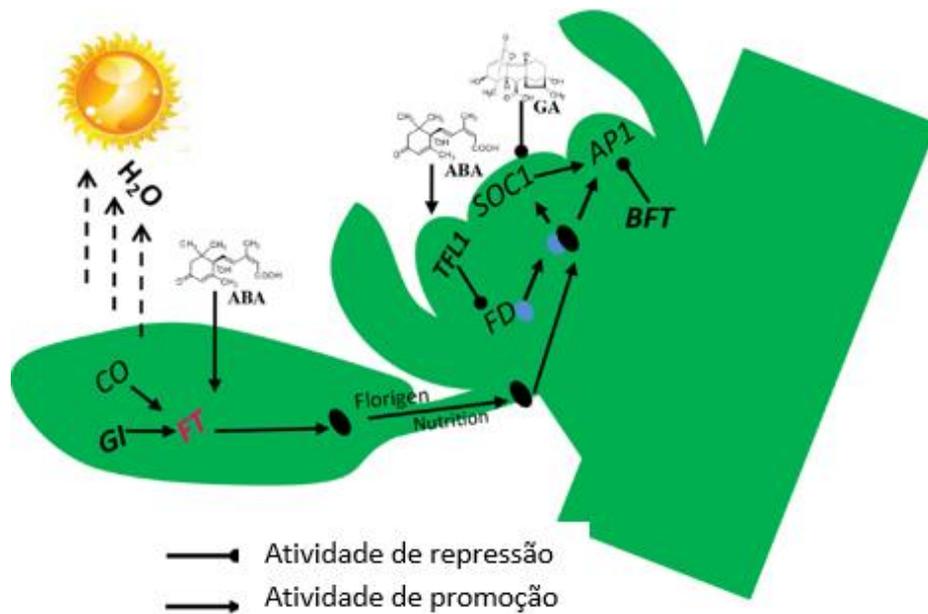


Figura 7 - Modelo de floração proposto durante o estresse hídrico (Adaptado de Li *et al.*, 2017)

8. Controle exógeno da floração com biorreguladores

Para espécies bianuais como os citros, o controle da floração durante os anos *ON* é muito importante para garantir uma boa florada e frutificação no ano seguinte (Agustí *et al.*, 1982). O uso de GA aplicado externamente como um agente para diminuir a floração durante um determinado período tem sido uma prática padrão por muitos anos (Monselise; Halevy, 1964). Outros experimentos confirmaram o efeito do GA aplicado externamente na inibição da expressão de genes indutores de flores (Munoz-Fambuena *et al.*, 2012). Sabe-se que as aplicações exógenas de GA

induzem o crescimento vegetativo, e seu efeito em investigações em diferentes regiões do mundo foi bem revisado por Garmendia *et al.* (2019).

A promoção da floração em citros também é um objetivo importante em seu cultivo, especialmente durante os anos de baixa florada. Goren e Monselise (1969) já relataram a indução da floração com aplicações de três antimetabólitos da síntese de ácidos nucleicos e proteínas em laranjeiras 'Shamouti'. Como o GA é o principal inibidor de floração conhecido, a maior parte da promoção de floração hormonal exógena tem sido focada em inibidores de GA, como o Paclobutrazol, mencionado acima (Martínez-Fuentes *et al.*, 2013; Nishikawa, 2013).

9. Ação do déficit hídrico

A pulverização com ácido giberélico em mudas de citros sob déficit hídrico proporciona efeitos relevantes. Aplicação de GA vai ser reconhecida por um receptor desse biorregulador denominado GID1, ocorrendo em seguida uma transdução de sinal para uma proteína nuclear DELLA, gene SLN1 (GID1), posteriormente, ocorre uma inativação através do gene SLN1 e manifestação do gene SLR1 DELLA, que reprime respostas à giberelina, levando à inibição do florescimento.

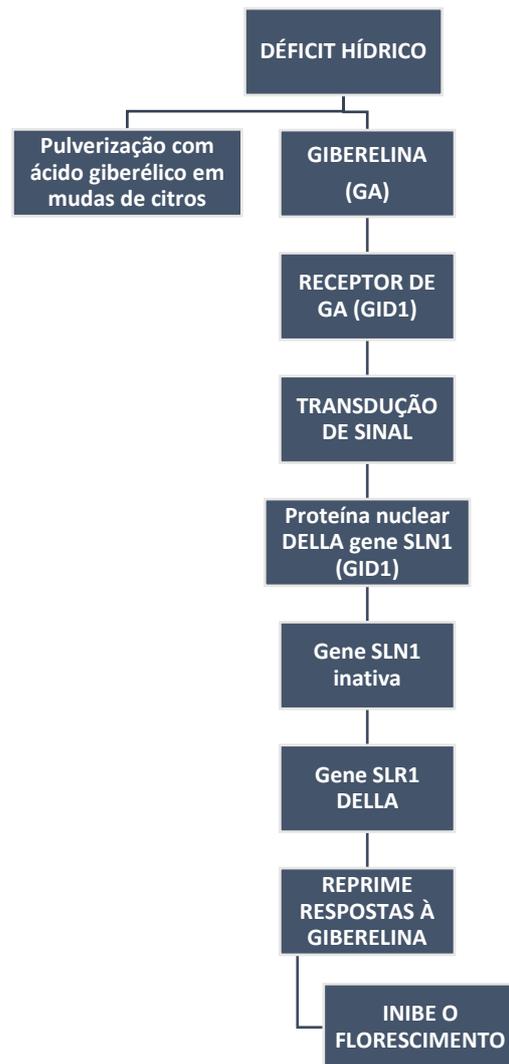


Figura 8 - Efeitos das pulverizações de mudas de citros 'Valência Americana', sob déficit hídrico, com ácido giberélico (GA3), na concentração de 84 ppm, 70-90 ml/planta, realizadas em 10 aplicações, iniciadas no final de fevereiro de 2023 e as subseqüentes a cada 3 semanas até a primavera do mesmo ano, quando se iniciou a antese floral (Hernández, 2024)

O declínio do nível de miR 156 permite a expressão dos genes SPL9 e SPL10, os quais regulam para cima a expressão do miR 172. O miR 172 regula para baixo seis fatores de transcrição do tipo AP2, que reprime o florescimento. A liberação da expressão, combinada com a regulação positiva dos genes promotores de floração SPL3-5 torna a planta competente para florescer, permitindo a transição para o florescimento. O declínio no tamanho das folhas adultas reflete uma mudança gradual na alocação de açúcares das folhas para estruturas reprodutivas em desenvolvimento.

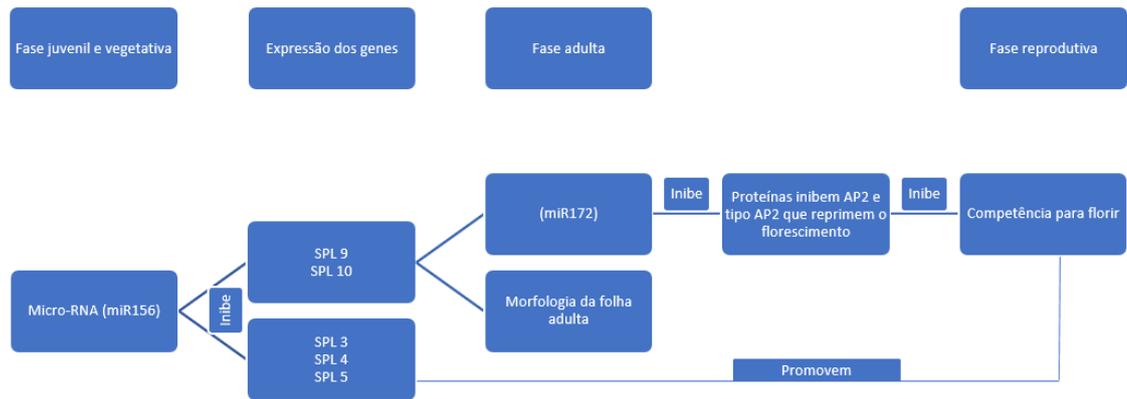


Figura 9 - Regulação da mudança de fase em *Arabidopsis* pelos micro-RNAs (Adaptado de Taiz *et al.*, 2017).

10. Considerações Finais

Este texto apresentou os principais aspectos da floração de plantas cítricas com a literatura disponível até o momento. Começou por expor pesquisas históricas, os aspectos fisiológicos, os fatores genéticos e moleculares envolvidos na floração em geral. Seguiu-se com a explanação dos principais fatores ambientais indutores da floração, a que se seguiu a considerações sobre os indutores da floração no interior da planta, com especial atenção para os hormônios envolvidos e o que se sabe sobre sua interação específica nesses processos. Finalmente, foi feita uma breve menção aos trabalhos referentes aos indutores/inibidores da floração. As pesquisas sobre o mecanismo de floração da planta continuam em andamento e, com base na tendência da literatura citada, é razoável considerar que avançará principalmente nos estudos com abordagem genética.

Referências

AGUSTI, M.; ALMELA, V.; PONS, J. Effects of girdling on alternate bearing in citrus. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v. 67, n. 2, p. 203-210, 1992, DOI: <https://doi.org/10.1080/00221589.1992.11516238>.

AGUSTÍ, M.; GARCÍA-MARÍ, F.; GUARDIOLA, J. The influence of flowering intensity on the shedding of reproductive structures in sweet orange. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 17, n. 4, p. 343-352, 1982.

AGUSTÍ, M. et al. Advances in citrus flowering: a review. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, art. 868831, Apr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.868831>.

ALBRIGO, L.G.; SAÚCO, V.G. Flower bud induction, flowering and fruit-set of some tropical and subtropical fruit tree crops with special reference to citrus. In: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS: CITRUS AND OTHER SUBTROPICAL AND TROPICAL FRUIT CROPS: ISSUES, ADVANCES AND OPPORTUNITIES, 26., 2004. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 632, 2004. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.632.10.

ARROM, L.; MUNNE-BOSCH, S. Hormonal changes during flower development in floral tissues of *Lilium*. **Planta**, Basel, v. 236, n. 2, p. 343-354, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-012-1615-0>.

BERNIER, G.; KINET, J. The control of flower initiation and development. In: BOPP, M. (Ed.). **Plant growth substances**. New York: Springer, 1986. p. 293-302.

CAMPOS-RIVERO, G. et al. Plant hormone signaling in flowering: an epigenetic point of view. *Journal of Plant Physiology*, Stuttgart, v. 214, p. 16-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.03.018>.

CASTRO, P.R.C. e; KLUGE, R.A.; PERES, L.E.P. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. 640 p.

CHAILAKHYAN, M.Kh. **Hormonal theory of plant development**. 1937. 198 p.

CHAILAKHYAN, M.Kh. Hormonal regulation of flowering in plants of different photoperiodic groups. **Fiziologiya Rastenii**, New York, v. 18, n. 2, p. 348-357, 1971.

CHOUARD, P. Vernalization and its relations to dormancy. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 11, n. 1, p. 191-238, 1960.

CLELAND, C. The florigen enigma. **BioScience**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 265-269, Apr. 1978. DOI: <https://doi.org/10.2307/1307278>.

CLINE, M.; WESSEL, T. Auxin/cytokinin effects on apical dominance. **Plant Physiology**, Rockville, v. 111, n. 2, p. 445-445, 1996.

COEN, E. Goethe and the ABC model of flower development. **Comptes Rendus de la Academie des Sciences**. Serie III, Sciences de la Vie, Paris, v. 324, n. 6, p. 523-530, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0764-4469\(01\)01321-x](https://doi.org/10.1016/s0764-4469(01)01321-x).

COEN, E.; CARPENTER, R. Power behind the flower. **New Scientist**, London, v. 134, 1992.

DORNELAS, M.C. et al. A genetic framework for flowering-time pathways in *Citrus* spp. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 30, p. 769-779, 2007a.

DORNELAS, M.C. et al. Towards the identification of flower-specific genes in *Citrus* spp. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 30, p. 761-768, 2007b.

DUKOVSKI, D.; BERNATZKY, R.; HAN, S. Flowering induction of *Guzmania* by ethylene. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 104-108, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.05.004>.

FATMA, M. et al. Ethylene signaling under stressful environments: analyzing collaborative knowledge. **Plants**, Basel, v. 11, n. 17, art. 2211, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11172211>.

FINKELSTEIN, R.R.; GAMPALA, S.S.L.; ROCK, C.D. Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. **Plant Cell**, Baltimore, v. 14, p. S15-S45, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.010441>.

FINOGINA, N.; BAVRINA, T.; CHAĬLAKHYAN, M.K. Changes in content of some antigenic proteins in trapezond tobacco in relation to regulation of flowering. **Fiziologiya Rastanii**, New York, v. 37, n. 6, p. 857-864, 1990.

GALLEGO-GIRALDO, L. et al. Flowering in tobacco needs gibberellins but is not promoted by the levels of active GA(1) and GA(4) in the apical shoot. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 48, n.4, p. 615-625, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcm034>.

GALLEGO-GIRALDO, L. et al. Gibberellin homeostasis in tobacco is regulated by gibberellin metabolism genes with different gibberellin sensitivity. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 49, n. 5, p. 679-690, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcn042>.

GARCIA-LUIS, A.; FORNES, F.; GUARDIOLA, J.L. Leaf carbohydrates and flower formation in citrus. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 120, n.2, p. 222-227, 1995. DOI: <https://doi.org/10.21273/jashs.120.2.222>.

GARCIA-LUIS, A.; SANTAMARINA, P.; GUARDIOLA, J. Flower formation from *Citrus unshiu* buds cultured *in vitro*. **Annals of Botany**, Oxford, v. 64, n.5, p. 515-519, 1989.

GARCÍA-TEJERO, I. et al. Impact of water stress on citrus yield. **Agronomy for Sustainable Development**, Versailles, v. 32, n. 3, p. 651-659, 2012.

GARMENDIA, A. et al. Gibberellic acid in *Citrus* spp. flowering and fruiting: a systematic review. **Plos One**, San Francisco, v. 14, n. 9, art. e0223147, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223147>.

GOLDSCHMIDT, E.; MONSELISE, S. Physiological assumptions toward the development of a citrus fruiting model. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, Lake Alfred, v. 2, p. 668-672, 1977.

GOLDSCHMIDT, E. et al. A role for carbohydrate levels in the control of flowering in citrus. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 26, n. 2, p. 159-166, 1985.

GOREN, R.; MONSELISE, S.P. Promotion of flower formation and fruit set in citrus by antimetabolites of nucleic-acid and protein synthesis. **Planta**, Basel, v. 88, n. 4, p. 364, 1969. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00387464>.

GUARDIOLA, J.L. Overview of flower bud induction, flowering and fruit set. In: CITRUS FLOWERING AND FRUIT, SHORT COURSE, 1997. **Proceedings...** Gainesville: University of Florida, Citrus Research and Education Center, 1997. Disponível em: https://irrec.ifas.ufl.edu/flcitrus/pdfs/short_course_and_workshop/citrus_flowering_97/Guardiola-Overview_of_Flower_Bud_Induction.pdf. Acesso em: 08 abr. 2025.

HAIM, D. et al. Alternate bearing in fruit trees: fruit presence induces polar auxin transport in citrus and olive stem and represses IAA release from the bud. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 72, n. 7, p. 2450-2462, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa590>.

HEDDEN, P. Recent advances in gibberellin biosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 334, p. 553-563, 1999.

HENDRY, N.; VAN STADEN, J.; ALLAN, P. Cytokinins in citrus. II. Fluctuations during growth in juvenile and adult plants. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 17, n. 3, p. 247-256, 1982.

HERNÁNDEZ, J.H. **Flowering control of *Citrus* with bioregulators and stressors**. 2024. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

IGLESIAS, D.J et al. Physiology of citrus fruiting. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Uberlândia, v. 19, p. 333-362, 2007.

IRISH, V. The ABC model of floral development. **Current Biology**, London, v. 27, n. 17, p. R887-R890, 2017.

KAIHARA, S.; KOZAKI, A.; TAKIMOTO, A. Flower-inducing activity of water extracts of various plant species, in particular *Pharbitis nil*. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 1023-1028, 1989.

KHAN, M.I.R. et al. Role of ethylene in responses of plants to nitrogen availability. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, art. 927, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00927>.

KIM, J.; CHANG, C.; TUCKER, M.L. To grow old: regulatory role of ethylene and jasmonic acid in senescence. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, art. 20, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00020>.

KING, R.W. Early events in the flowering process: key issues from a recent workshop. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 18, n. 5, p. 435-437, 1991.

KOBAYASHI, Y. et al. A pair of related genes with antagonistic roles in mediating flowering signals. **Science**, Washington, v. 286 n. 5446, p. 1960-1962, 1999. DOI: <https://doi.org/doi:10.1126/science.286.5446>.

KOORNNEEF, M.; MEINKE, D. The development of *Arabidopsis* as a model plant. **The Plant Journal**, Oxford, v. 61, n. 6, p. 909-921, 2010.

KOSHITA, Y.; TAKAHARA, T. Effect of water stress on flower-bud formation and plant hormone content of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). **Scientia Horticulturae**. Amsterdam, v. 99, n. 3/4, p. 301-307, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(03\)00113-4](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(03)00113-4).

KOSHITA, Y. et al. Involvement of endogenous plant hormones (IAA, ABA, GAs) in leaves and flower bud formation of 'Satsuma' mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 79, n. 3/4, p. 185-194, 1999.

KOUSSA, T.; COLIN, L.; BROQUEDIS, M. Endogenous levels of abscisic acid in various organs of *Vitis vinifera* L. (cv. Cabernet Sauvignon) between flower buds separated and grape closed stages. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 38, n.2, p. 141-146, 2004.

LI, C.Y.; WEISS, D.; GOLDSCHMIDT, E.E. Girdling affects carbohydrate-related gene expression in leaves, bark and roots of alternate-bearing citrus trees. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, n. 1, p. 137-143, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcg108>.

LI, J.X. et al. Identification of genes associated with lemon floral transition and flower development during floral inductive water deficits: a hypothetical model. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, art. 1013, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01013>.

LI, S.M. et al. Cytokinins as central regulators during plant growth and stress response. **Plant Cell Reports**, New York, v. 40, n. 2, p. 271-282, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02612-1>.

LIANG, N. et al. Difference of proteomics vernalization-induced in bolting and flowering transitions of *Beta vulgaris*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 123, p. 222-232. 2018.

LUO, X.; LIU, Z. C. Plant development: unveiling cytokinin's role in the end of flowering. **Current Biology**, London, v. 32, n. 4, p. R168-R170, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.01.019>.

MANZI, M. et al. Relationship between flower intensity, oxidative damage and protection in citrus under water stress conditions. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 12., 2015. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 1065, p. 1243-1249, 2015.

MARTÍNEZ-FUENTES, A. et al. Fruit load restricts the flowering promotion effect of paclobutrazol in alternate bearing *Citrus* spp. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 151, p. 122-127, 2013.

MONERRI, C. et al. Relation of carbohydrate reserves with the forthcoming crop, flower formation and photosynthetic rate, in the alternate bearing 'Salustiana' sweet orange (*Citrus sinensis* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, n. 1, p. 71-78. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.009>

MONSELISE, S.; GOLDSCHMIDT, E. Alternate bearing in fruit trees. **Horticultural Reviews**, Westport, v. 4, n. 1, p. 128-173, 1982.

MONSELISE, S.; HALEVY, A. Gibberellic acid (GA) has been reported to inhibit flower for. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v.84, p.141-146, 1964.

MOON, J. et al. Analysis of flowering pathway integrators in *Arabidopsis*. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 46, n. 2, p. 292-299, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pci024>.

MUNOZ-FAMBUENA, N. et al. Fruit regulates seasonal expression of flowering genes in alternate-bearing 'Moncada' mandarin. **Annals of Botany**, Oxford, v. 108, n. 3, p. 511-519, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcr164>.

MUNOZ-FAMBUENA, N. et al. Gibberellic acid reduces flowering intensity in sweet orange *Citrus sinensis* (L.) Osbeck by repressing cift gene expression. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 31, n. 4, p. 529-536, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9263-y>.

MURAYAMA, H. et al. Effect of girdling above the abscission zone of fruit on 'Bartlett' pear ripening on the tree. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, n. 14, p. 3679-3686, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erl129>.

NISHIKAWA, F. Regulation of floral induction in citrus. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo, v. 82, n. 4, p. 283-292, 2013.

NISHIKAWA, F. et al. Increased CiFT abundance in the stem correlates with floral induction by low temperature in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 14, p. 3915-3927, 2007.

ORITANI, T.; KIYOTA, H. Biosynthesis and metabolism of abscisic acid and related compounds. **Natural Product Reports**, London, v. 20, n. 4, p. 414-425, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1039/b109859b>.

PILLITTERI, L.J.; LOVATT, C.J.; WALLING, L.L. Isolation and characterization of LEAFY and APETALA1 homologues from *Citrus sinensis* L. Osbeck 'Washington'. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 129, n. 6, p. 846-856, 2004.

POPKO, J. et al. The role of abscisic acid and auxin in the response of poplar to abiotic stress. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 12, n. 2, p. 242-258, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00305.x>.

SALTER, P.J.; GOODE, J.E. **Crop responses to water at different stages of growth**. Farnham Royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1967. 246 p.

SHALOM, L. et al. Fruit load induces changes in global gene expression and in abscisic acid (ABA) and indole acetic acid (IAA) homeostasis in citrus buds. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 12, p. 3029-3044, 2014.

SINGERMAN, A.; FUTCH, S.H.; PAGE, B. Early performance of selected citrus rootstocks grafted with 'Valencia' sweet orange in commercial settings within a citrus greening endemic environment. **HortTechnology**, Alexandria, v. 31, n. 4, p. 417-427, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21273/horttech04784-20>.

SOUTHWICK, S.M.; DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. **Plant Physiology**, Rockville, v. 81, n. 1, p. 26-29, 1986.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAN, F.C.; SWAIN, S.M. Functional characterization of AP3, SOC1 and WUS homologues from citrus (*Citrus sinensis*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 131, n. 3, p. 481-495, 2007.

TANIMOTO, S.; HARADA, H. Hormonal regulation of flowering. In: PUROHIT, S.S. (Ed.). **Hormonal regulation of plant growth and development**. New York: Springer, 1985. p. 41-93.

THAMMATHA, P. et al. The responses of physiological characteristics and flowering related gene to the different water stress levels of red-flesh pummelo cultivars (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) own-rooted by air layering propagation under two growing conditions. **Horticulturae**, Basel, v. 7, n. 12, art. 579, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120579>

UNIYAL, S. et al. Cytokinin biosynthesis in cyanobacteria: insights for crop improvement. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 13, art. 933226, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.933226>.

VANNESTE, S.; FRIML, J. Auxin: a trigger for change in plant development. **Cell**, Cambridge, v. 136, n. 6, p. 1005-1016, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.03.001>.

WALKER, C.H. et al. Cytokinin signaling regulates two-stage inflorescence arrest in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 191, n. 1, p. 479-495, Jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac514>.

WARDELL, W.L.; SKOOG, F. Flower formation in excised tobacco stem segments. III. Deoxyribonucleic acid content in stem tissue of vegetative and flowering tobacco plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 52, p. 215-220, 1973.

ZACARIAS, L.; TUDELA, D.; PRIMO-MILLO, E. Role of ethylene in the opening and senescence of citrus flowers. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 46, n. 1/2, p. 55-60, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(91\)90092-d](https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90092-d).

ZEEVAART, J.A. Leaf-produced floral signals. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 11, n. 5, p. 541-547, 2008.

ZHANG, J.Z. et al. PtFLC homolog from trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*) is regulated by alternative splicing and experiences seasonal fluctuation in expression level. **Planta**, Basel, v. 229, n. 4, p. 847-859, 2009.

ZHAO, Y.D. Auxin biosynthesis and its role in plant development. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 61, p. 49-64, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112308>.

PODA DOS CITROS

1. Podas em fruteiras

Pausânias, geógrafo grego do século II a.C., dizia que a arte de podar nasceu da iniciativa irracional de um jumento que devorou os ramos de uma videira. Dessa forma, o animal acabou por ensinar aos habitantes de Náuplia a arte de podar. Existem vários tipos de podas, que são empregadas desde os primórdios da fruticultura, aplicadas e necessárias na maioria das fruteiras.

Dentre elas, há as podas manuais, para retirada de “ramos ladrões” (que interferem na absorção de carboidratos, sem contribuir para a produção), de brotações indesejadas dos porta-enxertos que retiram energia e competem com a parte produtiva da planta. Existem aquelas para promover arquitetura adequada às copas e permitir a entrada da luz do sol nos seus interiores, por vezes densos, fechados ou naturalmente sombreados, além de vários outros tipos que vão sempre depender dos objetivos dos fruticultores, como favorecer uma maior sanidade.

Há podas para várias fruteiras levando à formação das plantas no formato de taça, mais aberta na parte central. Isso permite a luz do sol atingir as folhas dos galhos internos e basais, melhorando a produtividade. Esse tipo de poda é muito recomendável para tangerinas ou mexericas de mesa e para fruteiras de caroço, como nos pessegueiros.

Existem ainda as podas de condução, que são necessárias para a formação de parreiras lineares ou em caramanchões, onde se eleva o tronco da planta numa haste principal e única até os fios de suporte, para promover a ramificação. Essa prática é comum nas videiras e maracujazeiros, sendo que está evoluindo para macieiras e pereiras, entre outras espécies.

Todas essas podas servem para melhorar o aproveitamento ou a distribuição da luz solar para todas as folhas, além de melhorar a ventilação da planta e facilitar os tratos culturais diversos e até a colheita. Outras podas têm o objetivo de estimular a formação de ramos floríferos, como em goiabeiras e mangueiras ou na citricultura. Podem ser utilizadas para estimularem, modificarem ou atrasarem os florescimentos ou as produções.

2. Podas em citros

Nos citros é comum a realização das podas em árvores jovens, cortando ramos ladrões, ramos laterais externos e superiores de forma manual ou semi-mecanizada. Elas servem também para evitar que as plantas cresçam muito ao longo do tempo, fechando as ruas, o que é indesejável para as práticas agrícolas. São úteis para dar conformação mais aberta e permitir a entrada de luz às copas ao longo do tempo. Isso é necessário, pois é sabido que o sombreamento no interior da copa dos citros é excessivo, estando as partes internas com luz insuficiente para a saturação da fotossíntese, sendo que, com maior luminosidade disponível os frutos têm maior desenvolvimento e adquirem a coloração de quando maduras; as podas podem, portanto, beneficiar o melhor desempenho fotossintético e aumentar a produção e qualidade dos frutos. Faz-se isso retirando alguns ramos centrais na sua inserção no ramo de origem, seja no tronco ou nos ramos secundários, dando às copas formação mais adequada.

Nos pomares adultos, também existem podas manuais e semi-mecanizadas. Os produtores retiram alguns ramos centrais para obterem o formato desejado, ou então, retiram ramos para fazerem uma abertura lateral como se fosse uma porta ou janela que facilita a entrada de luz, caldas de pulverizações e até de trabalhadores para fazerem a colheita, podas manuais, desbaste de frutas, dentre outras práticas. Essa abertura é normalmente dirigida ao sol nascente (Figura 1).



Figura 1 - Mexeriqueira (*Citrus deliciosa*), submetida à poda manual para dar a conformação adequada e manter uma abertura lateral suficiente para a iluminação interna e tratamentos culturais, como colheita, desbaste e penetrações de caldas de pulverizações. Pariquera-Açú, dez. 2016

As podas mecânicas e tratorizadas, com grandes serras circulares ou em barras, se tornaram mais frequentes na citricultura, na medida em que ocorreram plantios com maior densidade e menor área para o desenvolvimento individual das plantas. Nos anos 80, os produtores adotavam espaçamentos entre laranjeiras próximos de 32 metros quadrados, ou seja, 8 m entre linhas e 4 m entre plantas (8x4) ou 312 plantas por hectare, que foram reduzidos para aproximadamente 16,25 m², como no espaçamento 6,5 x 2,5 ou 615 plantas por hectare. Esses maiores adensamentos promoveram maior produtividade, precocidade da produção e geralmente com maior lucratividade nos primeiros anos de produção. O maior adensamento foi muito adotado, pois a expectativa de vida útil dos pomares foi reduzida pela ocorrência de doenças como o HLB (greening), causado pela bactéria *Candidatus Liberibacter asiaticus*. O plantio mais denso pode trazer maior produção nos primeiros anos para compensar as perdas dos anos seguintes com a redução do número de plantas saudáveis e produtivas nos pomares infestados. Contudo, nas condições subtropicais como no planalto paulista, que conferem crescimento rápido às plantas, nos espaçamentos menores as entrelinhas se fecham precocemente. Isso dificulta ou impossibilita as operações mecanizadas como pulverizações, roçagem e até a colheita. Por essas razões a poda tornou-se necessária, se não fundamental, para muitos pomares.

Nem sempre as podas são benéficas para a produtividade no ano em que é executada. Os ramos mais aptos a florirem e frutificarem geralmente são cortados ou reduzidos. Esses ramos são aqueles mais externos à copa, de seis meses a dois anos de idade, gerados na primavera ou verão anteriores. A proliferação ou a manutenção de parte deles é importante para a obtenção de boa safra. Geralmente a perda de produtividade é proporcional à redução da copa, pois a poda mecânica corta esses ramos. Há casos drásticos de reduções, principalmente quando os ramos são cortados em mais de 50 cm de comprimento. Dessa forma, boa parte dos que são aptos para florescerem ou frutificarem são eliminados.

Se após a poda, durante a florada subsequente, houver problemas climáticos, como falta de chuva ou excesso de calor, pode-se perder boa parte da safra por abortos fisiológicos que impedem a frutificação dos ramos mais velhos internos que ficaram na planta, pois os mais externos e jovens do verão ou outono anteriores, que poderiam florescer posteriormente ou promover um segundo florescimento, foram

retirados. Se as podas forem feitas após o florescimento ou no verão, elas irão eliminar parte dos frutos fixados.

Para reduzir as perdas e manter a árvore com arquitetura apropriada é recomendado iniciar cedo a poda, antes que as entrelinhas fechem demasiadamente ou as plantas fiquem exageradamente altas. Podem-se iniciar as podas quando o espaçamento medido entre as saias das plantas de linhas opostas se aproxima ou ultrapassa ligeiramente os 2,5 metros entre elas. Assim corta-se leve para manter essa distância que é a largura adequada e retira-se muito pouco dos ramos que podem florescer. Quando os pomares estão adultos, deve-se deixar programadas plantas com até 4 metros de altura e entre elas, pelo menos 2,5 metros entre as bases das copas, o que permite boa insolação e frutificação.

O corte das gemas apicais dos ramos tende a estimular novas brotações porque perde a dominância apical, ou seja, a planta tende a desenvolver brotações laterais novamente após elas serem executadas e com múltiplos ramos, notadamente nas podas mecanizadas mais drásticas que cortam ramos maduros e lenhosos. Muitas vezes essa recuperação ocorre com muito vigor o que pode agravar o problema de falta de espaço entre as plantas, exigindo novas operações subsequentes. Essa renovação do vigor pode ser benéfica para pomares mais velhos, pouco enfolhados e fechados, rejuvenescendo e aumentando a vida útil dessas plantas, mas em outros, já vigorosos, pode tornar-se um problema.

Existem soluções de manejo para estes problemas apresentados e há citricultores abdicando da facilidade da operação mecanizada para investirem em podas manuais, antes que as ruas fechem, pois nelas se escolhe os ramos que vão podar, evitando perdas de safra e de renda. Esses ramos escolhidos serão cortados na base e adjacente ao ramo de origem. Poda-se rente, na “forquilha” para evitar que uma eventual cepa remanescente brote intensamente. Assim, retira-se aqueles mais externos que invadem o meio da entrelinha e alguns no meio da copa para abrir espaço à entrada de luz para os ramos internos. Assim, preserva-se a maioria produtiva sem produzir riscos de perdas graves da safra seguinte por sua eliminação mecânica. Contudo, as podas manuais das plantas estão cada vez mais difíceis de serem realizadas, já que exigem mão de obra específica e cada vez mais valorizada. Podas de topo que exigem escadas também são difíceis de serem executadas, principalmente se forem corretivas em pomares mais altos. Portanto, o citricultor deve promover ações ao longo do tempo de desenvolvimento de suas plantas para

melhorar a arquitetura das plantas e evitar prejuízos e custos altos com mão de obra ou de perdas de produção por podas drásticas.



Figura 2 - Controle da arquitetura de plantas com uso de biorreguladores, Bio-CAP em lima ácida 'Tahiti', para conter o crescimento em altura das plantas após a poda. Arealva, mar. 2022

Uma nova solução para reduzir o crescimento dos citros e outras culturas como as macieiras foi desenvolvida em plantações comerciais de limoeiros 'Tahiti' e 'Siciliano'. Chamada de controle da arquitetura das plantas com o uso de biorreguladores vegetais, ou Bio-CAP. A técnica para os citros foi desenvolvida pela empresa CONPLANT Consultoria Pesquisa e Desenvolvimento Agrícola Ltda. em parceria com a ESALQ, nela se utilizaram reguladores vegetais para restringir o crescimento dos ramos que surgiram após as podas, deixando-os mais curtos, o que mantêm as plantas menores e mais fáceis de serem manejadas. A técnica permite que esses ramos frutifiquem, promove maior estabilidade de ventilação e insolação interna, facilita a colheita, reduz a quantidade de podas no topo das plantas e resulta em melhor frutificação e qualidade dos frutos produzidos.



Figura 3 - Tendência de redução do desenvolvimento de brotações de limão 'Siciliano', posteriormente à poda apical, com melhoria da qualidade dos frutos, através da aplicação de Hidrazida Maleica (HM) e Triclopir Butotílico (3, 5, 6 – TPA), segundo Silva (2024).

A técnica será expandida para vários cultivares de citros. Esse novo passo será importante para avanços tecnológicos que possibilitem melhor solução dos problemas relacionados ao manejo adequado da arquitetura das copas dos citros.

Referências

- BOVÉ, J.M. Huanglongbing: A destructive, newly emerging, century-old disease of citrus. **Journal of Plant Pathology**, New York, v. 88, p. 7-37, 2006.
- MADJDOUB, R.B.; VAL, J.; BLANCO, A. Prohexadione-Ca Inhibits vegetative growth of 'Smoothie Golden Delicious' apple trees. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 101, p. 243-253, 2003.
- MEDINA, C.L. Princípios gerais da poda. **Citricultura Atual**, Cordeirópolis, v. 23, p.10-11, 2001.
- MONSELISE, S.P. Citrus. MONSELISE, S.P. (Ed.). **Handbook of fruit set and development**. Boca Raton: CRC Press, 1986. p. 87-108.
- SILVA, M.C.V. **Ação dos biorreguladores e nutrição mineral no controle da arquitetura e na produtividade dos citros**. 2024. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.
- TUCKER, D.P.H.; WHEATON, T.A.; MURARO, R.P. **Citrus tree pruning principles and practices**. Gainesville: University of Florida, 1994. 9 p. (Fact Sheet, HS-144).

SAF FRACTAIS (ARBORIZAÇÃO)

A agricultura sustentável envolve a nossa abordagem a longo prazo, na qual procuramos maximizar os benefícios econômicos, ambientais e sociais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas necessidades. Baseado em práticas agrícolas que reduzem a quantidade e o uso de produtos químicos, a conservação do solo e da água, a promoção da biodiversidade e a rotação de culturas.

Fernando Olmedo

1. Colhendo o sol

O trabalho do agricultor pode ser resumido no ditado popular que é a 'Arte de colher o Sol'. Essa frase traduz de forma concisa a atividade agrícola que utiliza a conversão da energia radiante em energia química pela fotossíntese e a sua utilização para o desenvolvimento dos vegetais.

Ao plantarem, ato essencial para produzir alimentos, fibras e energia, os agricultores normalmente dispõem suas plantas de forma arranjada para que cresçam em ambientes favoráveis com luz, ar, água e minerais e, assim, obterem boa produção.

Boa parte da luz incidente sobre a plantação é fundamental para o aquecimento das plantas e do ambiente. Parte da radiação é refletida para a atmosfera como luz visível ou na forma de radiação térmica infravermelha. Outra porção é absorvida pela água contida nas plantas e no meio. Ao adquirir essa energia, a água é evaporada no processo. Ao redor de 2% do total é utilizada para a fotossíntese (Cohen *et al.*, 1997)

A maioria dos agricultores faz o arranjo de suas plantas no terreno sem propriamente pensar na captação da energia radiante para maximizar a fotossíntese, pois mesmo que apenas 2% seja aproveitado no processo, a redução de sua disponibilidade aos vegetais tende a decrescer. Interessante é pensarmos nas curvas de respostas da fotossíntese à luz, que se esclarece de forma clara como o fenômeno acontece (Figura 1).

Normalmente eles são orientados por resultados práticos ou de experimentações dos espaçamentos entre plantas, os quais possibilitam boa produtividade e qualidade. Também por fatores diversos ao aproveitamento da luz, como a facilidade de execução dos tratamentos culturais, de mecanização ou colheita.

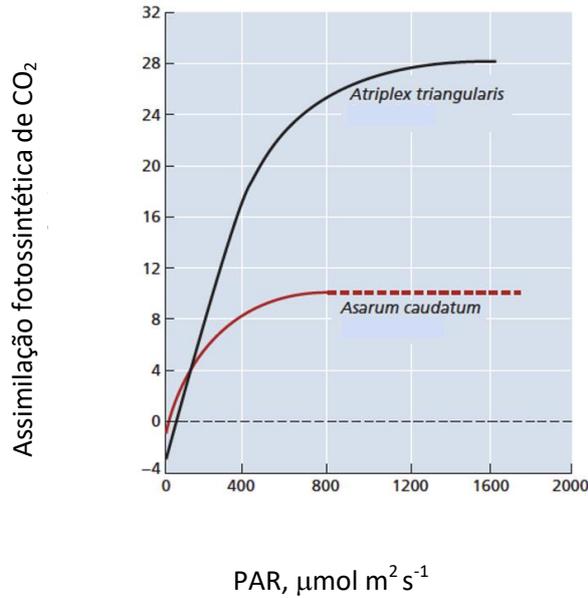


Figura 1 - Curvas de respostas da assimilação fotossintética à luz ou radiação fotossintética ativa, radiação (PAR), ao longo do dia. A menor radiação ou zero, ocorre logo antes do amanhecer e a máxima, ao redor de 2000 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ próximo ao meio dia, em um dia ensolarado típico de zonas tropicais e subtropicais. A linha preta representa a resposta de uma planta tipicamente de sol, *Atriplex triangularis* e em vermelho, de uma planta que vive no sub-bosque sombreado, *Asarum caudatum*. As plantas típicas de sombra possuem baixo ponto de compensação lumínica e menor taxa máxima de fotossíntese que as plantas de sol. A linha vermelha tracejada é uma extrapolação de parte da curva (Adaptado de Harvey, 1979).

Seria interessante se os agricultores evidenciassem a luz para obterem a boa produtividade e qualidade da produção, pois poderiam despertar ações como de plantações mais produtivas ou mais eficientes.

Priorizar o aproveitamento a luz em sistema de plantios é interessante, pois os diversos fatores que interferem no desempenho da planta e de sua produtividade, os quais estão relacionados com a capacidade da plantação converter a luz em energia química ou carboidratos.

O modelo científico exposto por Charles-Edwards (1982) pode explicar essa relação praticamente linear. Ele define que a taxa diária de acúmulo líquido de matéria seca por uma cultura, D_W/D_t , é:

$$D_W/D_t = eJ - V \quad \text{equação 1}$$

Em que: J é a quantidade de energia interceptada pela cultura durante o dia, e é a eficiência na qual a cultura utiliza a energia luminosa na produção de matéria seca e V é a taxa diária de perda de matéria seca pela cultura.

A parte econômica colhida ou o componente colhido, W_H , pode ser escrito como:

$$W_H = S^{(i=t)} (h_H e J - V_H)_i \quad \text{equação 2}$$

Em que: h_H é a proporção da taxa diária de incremento de matéria seca na cultura destinada para a colheita, V_H é a taxa de perda de matéria seca por quaisquer causas, e t vem a ser o tempo para produção da parte colhida da cultura.

Desta forma, as ações da agricultura podem ter nessas fórmulas a base de orientação para melhorar produção. Essas ações normalmente influenciam na eficiência (e) de conversão da energia luminosa interceptada (J) em massa, ou para evitar que ocorram perdas no período (V). Como exemplo, correções das deficiências minerais de nitrogênio, magnésio, enxofre ou ferro, as quais interferem diretamente na eficiência, pois elas atuam na síntese de clorofila, molécula responsável pela captação da energia luminosa no processo fotossintético. Plantas carentes desses elementos tendem a ser amareladas, crescem e produzem pouco.

Perdas (V) por ataques de pragas, doenças e plantas invasoras, além de estresses ambientais, como veranicos, resultam em perdas de desenvolvimento, carbono fixado ou produtividade, pois cortam, matam ou derrubam folhas, que são as principais estruturas de assimilação da energia luminosa. Dessa forma o manejo fitossanitário é fundamental para mantermos altas assimilações de carbono na agricultura.

A eficácia no uso da energia dependerá de fatores como distâncias das fontes, logística, etc. Estes fatores estão ligados ao desenvolvimento socioeconômico ou ao progresso regional e via de regra, pouco progresso em logística prejudica a eficiência do uso energético, pois implica em dificuldades com transporte para a aquisição e aplicação dos insumos. Cabe destacar que a eficácia no uso dos fertilizantes deve seguir boas práticas agronômicas onde estudos por análises diversas, como da fertilidade química do solo e do estado nutricional das plantas, são fundamentais para se determinar demandas da cultura, como quais nutrientes ela está precisando, quanto, em que forma, quando e onde deve-se aplicar determinado fertilizante. Conhecimentos e técnicas ligados à dinâmica do fertilizante no solo associada às características químicas, físicas ou biológicas, trazem inúmeros benefícios para a economia, a eficácia desses insumos e os gastos de energia para sua utilização.

2. Agricultura e balanço do carbono

O substrato necessário para as plantas no processo de conversão de energia solar em energia química na forma de açúcares é o gás carbônico ou dióxido de carbono (CO_2). Este gás difunde-se da atmosfera para o interior das folhas pelos estômatos que são as principais estruturas foliares para as trocas gasosas. O CO_2 , é difundido pelas células dos tecidos foliares, atingindo os cloroplastos, sendo aí reduzido à glicose pelo ciclo de Calvin e Benson, utilizando o ATP e o NADPH sintetizados nos tilacoides pelas clorofilas, conforme a via de Hill-Bendall, sendo a radiação luminosa a fonte de energia para suas sínteses. A hidrólise da água libera oxigênio e energia (H^+) para as reações químicas necessárias na síntese da glicose.

Nas últimas décadas, a humanidade vem observando aumento da concentração do CO_2 na atmosfera atribuído, principalmente, à queima de combustíveis fósseis. O aumento é notório, indo de 360 ppm no final do século 20 para próximo de 425 ppm em 2024. Como substrato para a síntese de glicose, o aumento da concentração de CO_2 pode incrementar as taxas de fotossíntese. Contudo, esse aumento de concentração na atmosfera tem sido apontado como fator negativo ao meio ambiente pela propriedade física do CO_2 de absorver radiações térmicas e aquecer o ar. Este processo é chamado de efeito estufa que é um dos fatores atribuídos ao aquecimento global evidenciado nas últimas décadas. Há preocupação com outros gases que absorvem as radiações como o óxido nitroso e o metano.

Muitos cientistas relacionam o aquecimento global como causa de maiores ocorrências de eventos climáticos indesejáveis como enchentes, tempestades, secas, entre outros, e recomendam ações para evitar que elas se acentuem. Outros atribuem o aquecimento global cíclico e natural, como consequência da maior atividade solar. O aquecimento da atmosfera seria possivelmente consequência da liberação de CO_2 das algas dos mares e oceanos que cobrem mais de 2/3 do planeta. Entretanto, há problemas de degradação ambiental relacionados às queimadas de matas ou restos de cultivos, atividades empresariais, transportes e gado que liberam o CO_2 e gases nocivos na atmosfera, decompositores da camada de ozônio. Há reflexos dessas atividades na poluição do ar, na degradação do solo, perda de biodiversidade, etc.

Diversas ações estão previstas pelas organizações mundiais que visam reduzir os aumentos dos gases do efeito estufa como políticas ambientais voltadas a

reduzir a queima de biomassa fóssil para obtenção de energia, os desmatamentos e promover a recuperação de florestas que são consideradas reservas e mitigadoras do excesso de carbono atmosférico; tais ações de mitigação são conhecidas como redução das “pegadas de carbono” (representa a quantidade de gases do efeito estufa emitida na atmosfera por alguma atividade humana) por organizações ambientais. Vários órgãos e até o sistema financeiro mundial se envolveram nas regulamentações e estão procurando meios de transformar os créditos de carbono em moeda negociável, estimulando empresas, agricultores e comunidades.

Segundo o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA (2023), as emissões de gases de efeito estufa precisam cair 42% até 2030 para haver 50% de chances de atingir o limite estabelecido pelo Acordo de Paris de elevação em 1,5°C da temperatura ambiente em relação aos níveis pré-industriais. Indicam que em 2030 será necessário remover pelo menos 3,5 bilhões de toneladas de CO₂ da atmosfera em todos os anos, a fim de conter o aquecimento global em menos de 2°C até o fim do século 21.

Pensar na mitigação do efeito estufa pela agricultura é interessante, pois desenvolver plantas implica na assimilação do CO₂. Mesmo que a atividade tenha custos energéticos e pegadas de carbono no uso de insumos, é diferente da maioria de outras ações econômicas que não utilizam o CO₂ como substrato.

A agricultura também pode melhorar seus saldos de carbono se pensarmos no aspecto técnico da “arte de colher o sol”. Se os produtores atuarem nos fatores que melhoram a eficiência na utilização da luz para maior acúmulo de massa ao longo do tempo (e das equações 1 e 2) que implica em bons estados hídricos, nutricionais e sanitários das plantas, bem como na redução das suas perdas através de práticas agrícolas sustentáveis, poderão dar grandes passos na mitigação do efeito estufa.

À medida que as plantas se desenvolvem, boa parte do carbono fixado destina-se para construção e atividade das raízes e por exsudados das mesmas no solo. Muitas plantas destinam mais de 50% do carbono atmosférico absorvido para seu sistema radicular. Em laranjeiras ‘Valência’, DAVIS *et al.* (2014) verificaram que plantas jovens destinaram aproximadamente 60% do carbono assimilado para as raízes.

Após a morte do vegetal ou sua remoção, ao terminar seu ciclo de vida produtivo, por mais que a atividade biológica de decomposição dos restos vegetais

libere o CO₂ à atmosfera, parte será retida e contribuirá para a formação de substâncias húmicas estáveis que contribuem gradativamente para a maior concentração de carbono no solo. Esses fatos explicam porque o solo é grande reservatório de carbono, sendo importante protegê-lo contra excessiva manipulação, erosão e degradação.

Uma atividade agrícola que resulte na fixação de 10 gramas de carbono em 1 m² de solo na camada arável com 20 cm de profundidade implicaria em 20 toneladas de carbono fixados em um hectare. Isso é significativo se considerarmos que a agricultura brasileira se desenvolve em 7% do território nacional de 8.510.000 km². Se considerarmos em 600.000 km² ou 60 milhões de hectares com melhorias de manejo e a fixação de 20 toneladas de carbono até 2030, 1,2 bilhões de toneladas de carbono poderiam ser fixadas anualmente. As pastagens brasileiras ocupam mais de 160 milhões de hectares, onde estimam-se que 60 milhões de hectares estão em processos de degradação. Essas extensas áreas, se tratadas para plantios de cultivos (biomassa) e aproveitamento da energia para a fotossíntese, poderão contribuir significativamente para a maior assimilação do carbono atmosférico excedente.

3. Arborização e pleno sol

A história da agricultura começou com o cultivo de cereais, notadamente plantas que naturalmente se desenvolvem a pleno sol. Por séculos de desenvolvimento a organização do trabalho e toda a ciência procurou técnicas para a alta produtividade, qualidade da produção e menores custos, dando maior sustentabilidade aos sistemas produtivos. Observou-se ao decorrer dos séculos, que o alimento se tornou mais barato com a agricultura moderna, assim, o desenvolvimento da agricultura em pleno sol foi e é de fundamental importância para o desenvolvimento da humanidade.

A agronomia e o melhoramento genético foram fundamentais nesse processo de evolução da agricultura e maior eficácia na conversão da energia. Como exemplo, observamos o resultado do melhoramento do trigo desenvolvido pela equipe de pesquisadores científicos do Instituto Agronômico de Campinas - IAC, comandada pelo Dr. Carlos Eduardo de Oliveira Camargo. Quando ele iniciou seus estudos no início dos anos 70, os cultivares disponíveis em São Paulo produziam pouco mais que 500 kg ha⁻¹ e, hoje, após os 30 anos de sua carreira, todos os novos

cultivares ultrapassam 5000 kg ha⁻¹ (Informação pessoal do Dr. Ondino Cleante Bataglia, 2024). Provavelmente a taxa de fotossíntese desses novos cultivares aumentaram significativamente pelas alterações morfofisiológicas na arquitetura foliar, relação entre folhas e colmo, relação fonte-dreno, índice de colheita, adaptação às condições edafoclimáticas, tolerância à estresses bióticos e abióticos, os quais são aspectos que permitiram melhorar a eficácia da conversão de energia solar em grãos.

Com as culturas de sub-bosque, como diversas fruteiras, como citros, macieiras, cacau e, notadamente, o cafeeiro, que ao serem retiradas das matas e dispostas ao pleno sol, proporcionou-se maior quantidade de energia para o desenvolvimento e produtividade, facilitando a organização do trabalho, tratos culturais diversos, colheitas, logística, etc. Mas é necessário considerar que plantas originalmente adaptadas ao sub-bosque, a intensidade de luz para a saturação da fotossíntese ocorre em valores menores que aquelas de pleno sol e o excesso de radiação pode conduzir a estresses e outras consequências como:

- a) A maior disponibilidade de energia e temperatura permite maior velocidade de crescimento e produção frequente de tecidos jovens que podem dar maior atratividade e vulnerabilidade das plantas aos herbívoros pois, na medida que estes preferem estruturas tenras e pouco protegidas por possuírem menor estrutura de defesa pré-formada, como paredes celulares espessas, alta deposição de cálcio, sílica, cutículas desenvolvidas, papilas, pelos e até menor concentração de substâncias de defesas, como fenilpropanoides. As brotações mais jovens em pleno crescimento também podem dispor de menos energia disponível para processos de defesa pós-formadas. Tudo isso pode exigir maiores investimentos para o manejo fitossanitário;
- b) Em ambientes de maior incidência de luz e energia, notadamente em ambientes tropicais ou equatoriais, a temperatura dos tecidos do vegetal pode se elevar demasiadamente. O aumento da temperatura dos tecidos, implica em maior demanda respiratória e gasto de energia, podendo mesmo causar lesões foliares. Normalmente há declínio na taxa de fotossíntese e aumento de respiração e fotorrespiração em muitas dessas plantas de sub-bosque quando a temperatura de suas folhas supera os

35°C. Isso possibilita balanço energético desfavorável, dando a planta menor saldo de energia destinada para a produtividade, defesas, etc.;

- c) Há maior probabilidade de estresses oxidativos quando há luz excessiva, bem como aquecimento demasiado dos tecidos. Isso pode trazer prejuízos aos tecidos, o que aumenta a vulnerabilidade do vegetal a determinados patógenos. Não apenas patógenos, mas é notório às lesões ou escaldaduras de vegetação e dos frutos nos ambientes tropicais em espécies de sub-bosque como nos citros (Figura 2), cacau, café, etc.;



Figura 2 - Queima ou escaldadura de sol em folhagens de laranjeiras (esquerda) e de frutos de tanger 'Murcott' (direita) na região de Boa Vista, RR, de clima equatorial, onde é comum a ocorrência de períodos de altas radiações e temperaturas

Fotos: Camilo Lázaro Medina

- d) A maior incidência de energia radiante e temperatura sobre as plantas implica em maior transpiração, aumentando sua demanda hídrica e necessidade de energia na irrigação;
- e) Parte da diversidade biológica, que poderia auxiliar no manejo de pragas e doenças, é perdida nos plantios de monocultivos ao sol;
- f) A reciclagem de nutrientes pode ser reduzida, considerando-se que muitas espécies no sub-bosque podem promover melhorias na ciclagem de nutrientes, incorporar mais matéria orgânica e promover melhor retenção de água que nos sistemas de monocultivos;
- g) Os solos mais expostos estão mais sujeitos aos processos erosivos. O aumento da temperatura e redução da biodiversidade afetam toda a fauna e população microbiana que podem acelerar processos de degradação;

h) A menor cobertura dos solos em monocultivos de árvores em pleno sol é menos eficaz na extinção da energia utilizada na fotossíntese encontrada nas florestas e de menor capacidade de fixação do carbono atmosférico.

Consequentemente, ao retirarem-se as plantas do sub-bosque, ganhou-se em produtividade a pleno sol, mas se agravaram os problemas fitossanitários, de demanda hídrica, erosão, etc.

Alternativas de sistemas agroflorestais com sombreamentos controlados de forma a permitirem boa produtividade podem ser melhor opção que voltar ao sub-bosque. Trabalhos ou pesquisas de arranjos de plantas devem valorizar espaçamentos entre outros que orientam para plantios mais eficazes e equilibrados.

4. Energia e balanço de carbono

Ao se desenvolverem os cultivos por sementes ou mudas, o aproveitamento da energia solar disponível para assimilação do CO_2 aumentará com o desenvolvimento vegetativo até que a área foliar das culturas cubra o solo com alguma sobreposição, atingindo um índice de área foliar ótimo para a captação da energia radiante e para a produtividade. Esse índice de área foliar (IAF), que é a área das folhas que cobre uma determinada superfície do terreno e pode ser expressa em $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$. Em plantios como a soja, o IAF ideal para a produtividade pode estar próximo de 5 ou seja, 5 m^2 de folhas, por m^2 de terreno. Índices maiores tendem a ter excesso de massa ou de folhagens auto-sombreadas com pouca luz disponível para saturar todas as superfícies foliares, bem como muita massa vegetal respirando e eliminando CO_2 . Desta forma, a produtividade tende a não aumentar proporcionalmente com o aumento progressivo do IAF, além dos custos maiores envolvidos no plantio em altas densidades. Portanto, estudos da densidade e arranjos de plantas com diferentes arquiteturas são muito importantes na agronomia, abrangendo numerosos sistemas de modelagem.

Nos cultivos de grãos ou cereais, a energia acumulada na forma de carboidratos ou proteínas migra para os grãos, órgãos e estruturas de interesse para o homem aproveitar, exportando-os através da colheita. Após produzirem, perdem suas folhas e entram em senescência. A palhada dessas plantas após a colheita, bem como toda massa radicular que fica no terreno, irão se decompor e serão utilizadas pelos microrganismos e parte transformada em húmus mais estável. Em muitos solos, o húmus constituirá importante componente da fertilidade, pois

beneficia muitos aspectos físicos e químicos do solo, como nas trocas de cargas de cátions (CTC), porosidade e aeração, infiltração e a capacidade de retenção de água.

No sistema de plantio direto (em linhas) na palhada, a massa dos restos vegetais deixados ao solo tende a trazer maiores benefícios, pois as práticas de aração ou gradagem aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica. Isso ocorre, pois o revolvimento do solo expõe a maior incidência de radiação solar. Essas mudanças resultam em maior oxigenação e o aumento da temperatura do solo, que aceleram a atividade ou respiração dos microrganismos decompositores e a liberação do CO₂ para a atmosfera.

A rotação de culturas também é muito relevante, no sentido de se reduzir o ataque de pragas e doenças, além de manter a área coberta de vegetação, importante na manutenção parcial das características intrínsecas do solo.

Cultivos perenes como árvores, e mesmo pastagens, podem promover acúmulos consideráveis de biomassa e serem mitigadores do aumento de gás carbônico na atmosfera já que estão menos sujeitos ao revolvimento do solo.

Na floresta há a tendência de maior aproveitamento da energia solar, pois à medida que a luz se difunde pelas plantas, é absorvida pelos diferentes estratos ou camadas de vegetais. O aproveitamento da luz inicia-se por plantas mais altas, chega em parte nas plantas menores do sub-bosques, até se extinguir nas herbáceas e um pouco do solo exposto nas sombras de troncos e colmos. Parte dessa energia radiante serve para o aquecimento das plantas, do ar e do solo, o que beneficia todo o sistema, inclusive a vida abaixo da serrapilheira. Nesses estratos (camadas), é notável observar a redução gradativa da luz e há aqueles que, estando no sub-bosque, referem-se a este ambiente como “a mata escura”, ou seja, quase que a totalidade de luz solar incidente é absorvida pelos diferentes estratos foliares, com exceção daquela refletida novamente para a atmosfera ou absorvida pelo solo. Lembrando que boa parte dessa luminosidade fornece a energia para a evapotranspiração.

Nos ambientes onde coexistem solos profundos, água, temperatura e umidade, como na Mata Atlântica do litoral brasileiro, podemos observar grande diversidade e desenvolvimento de espécies que auxiliam na absorção da energia radiante e na fixação do carbono. Em florestas de clima temperado, observamos

menor densidade de plantas e espécies, e menor capacidade de absorção e fixação da luz incidente (Figura 3).



Figura 3 - À esquerda, exemplo de floresta tropical do Parque Estadual da Serra do Mar da Mata Atlântica, de grande diversidade de plantas sob diferentes intensidades de luz. À direita, foto da Floresta Domaniale no Parque Nacional dos Cévennes, no sul da França, de clima temperado. Observamos que em ambas há extinção da luz nos diferentes estratos da mata, além de maior número de espécies de plantas na Mata Atlântica, o que remete à maior capacidade de absorção da energia solar nesta floresta

Fotos: Camilo Lázaro Medina

A eficiência na absorção da luz pelas plantas em florestas naturais não carece apenas de disponibilidade hídrica e temperatura, mas também da fertilidade do solo que exerce grande influência. Mesmo em ambiente adequado em água, aeração e energia, a luz pode não ser devidamente aproveitada para fixação se houver deficiências minerais.

A luz incidente sobre a superfície foliar, quando não utilizada para a fotossíntese, por ultrapassar suas necessidades energéticas, pode promover aumento da temperatura do vegetal ou ser dissipada na formação de espécies reativas de oxigênio (ROS, do inglês reactive oxygen species). Os radicais livres são moléculas formadas pelo próprio metabolismo vegetal, como a hidroxila (OH^+), por exemplo, que são altamente instáveis e reativas, podendo provocar danos celulares ao reagirem com diversas moléculas e compostos das membranas celulares. É natural que parte da energia seja extinta em reações que geram radicais livres, mas em condições de deficiências minerais, os danos podem ser acentuados. Como exemplo, existem enzimas como a superóxido dismutase, envolvidas na extinção de ROS que necessitam dos nutrientes como cobre, zinco ou manganês.

Nos ambientes de baixa fertilidade do solo e com restrições hídricas, muitas espécies de plantas se adaptaram e desenvolveram características próprias para sobreviverem ao excesso de luz. É notório observar a alteração do verde de suas

folhas, disposições ou arquiteturas foliares que promovem reflexão ou menor absorção da luz incidente. Claramente, a redução na absorção da luz decorre em menor fixação do carbono atmosférico, logo, as plantas crescerão menos (Figura 4). Porém, este processo pode ser uma característica positiva de folhas jovens de algumas espécies vegetais, atuando como sistemas de proteção ao excesso de radiação sobre as folhas novas.



Figura 4 - Fotos do Parque Estadual de Ibitipoca, em Ibitipoca, MG. À esquerda, floresta do alto da serra, com solos rasos, de baixa fertilidade, onde encontramos vegetação rasteira, rala, com o domínio de gramíneas de coloração muito clara, e pouca capacidade de absorção da radiação fotossintética e de fixação do carbono atmosférico. À direita, a poucos metros de distância do local da foto da esquerda, na encosta de um morro com maior acúmulo de água e solo mais profundo, observamos mata densa, maior diversidade de espécies, com maior capacidade de absorção da luz e de fixação de CO_2

Fotos: Camilo Lázaro Medina

As interferências da baixa fertilidade dos solos e de áreas com longos períodos de deficiência hídrica no acúmulo de massa vegetal, são observadas nos cerrados ou savanas, locais onde predominam algumas gramíneas, arbustos ou árvores mais tolerantes à seca. Essas árvores apresentam raízes profundas para maior exploração do solo, troncos retorcidos com estruturas especiais providos de camadas de suberina, que promovem isolamento das altas temperaturas, o que confere proteção parcial contra as queimadas (Figura 5).



Figura 5 - *Curatella americana* L., árvore popularmente conhecida como caimbé, cajueiro bravo, lixeira ou sambaíba, é uma Dilleneaceae muito comum no lavrado de Roraima. Árvore de tronco nodoso, muitas vezes tortuoso, de baixa exigência em fertilidade e alta tolerância ao fogo e à seca. As folhas são simples, grandes, coriáceas, serrilhadas e alternas, muito ásperas, principalmente na face ventral devido ao acúmulo de sílica (Almeida *et al.*, 1998; Corleta, 2008). A foto expõe o início de sua recuperação após o fogo

Foto: Camilo Lázaro Medina

O intemperismo provocado pelas chuvas, radiação solar, fogo e vento, contribuiu para a degradação da fertilidade desses solos. A fertilidade também se relaciona com o material de origem dos solos, muitas vezes constituídos de sedimentos de arenitos com baixa concentração de nutrientes minerais. São poucas as plantas que se desenvolvem bem nesses solos. Como exemplo deste ambiente, temos muitas savanas e cerrados, regiões subsaarianas até o extremo sul africano, regiões centrais da Índia, extremo norte da Austrália, e no lavrado de Roraima, em clima equatorial, com baixíssima capacidade de acúmulo de biomassa (Figura 6).



Figura 6 - Lavrado ou cerrado amazônico em Boa Vista, Roraima. À esquerda, foto de áreas de preservação que mostra a savana em sua forma natural, típica, com vegetação rala e poucas espécies. À direita, locais de drenagem e nascentes de água no mesmo lavrado, ou onde a savana apresenta veredas com buritis e um número pouco maior de espécies, dada a maior disponibilidade de água e nutrientes às margens de lagoas e igarapés

Fotos: Camilo Lázaro Medina

Esses exemplos mostram que os ambientes naturais podem ser grandes conversores de energia em fitomassa ou drenos do excesso de carbono na atmosfera, dependendo das condições que favorecem o processo fotossintético, como o regime hídrico e a fertilidade do solo. Nestes casos, atividades agrícolas que evitam o fogo introduzem recursos para as plantas se desenvolverem bem, podendo melhorar o aproveitamento da energia solar disponível. De fato, a agricultura pode produzir bens e alimentos e deve ser efetuada no maior aproveitamento da energia solar disponível, na mitigação das pegadas de carbono e regeneração de ambientes escassos.

Há o risco de investimentos em recursos com gastos energéticos que nem sempre resultam em balanços positivos nas pegadas de carbono, sendo interessante que os produtores se inspirem no contexto da redução da emissão do CO₂ ao adotarem práticas agrícolas sustentáveis que podem amenizar esses processos. Como exemplo, as irrigações por gotejamento, microaspersão ou localizadas, se corretamente manejadas, gastam menos energia e água que outras técnicas que irrigam em área total e demandam maior capacidade de bombeamento. O uso de corretivos de acidez e do excesso de alumínio tóxico, como calcário e gesso, proporciona maior desenvolvimento radicular para a maioria das plantas cultivadas e melhoram a eficiência no aproveitamento de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio de maior exigência às culturas. Medidas de conservação do solo como as construções de terraços para retenção da água e da força erosiva melhoram a disponibilidade hídrica, evitam processos erosivos ao longo do tempo, aspectos fundamentais quando se considera a fotossíntese e economia de energia. Plantio direto em linhas evita o revolvimento excessivo do solo provocado por gradagens, arações e subsolagens, capazes de expor as partículas de solo à perda de CO₂ para a atmosfera.

5. Sistemas agroflorestais

Os sistemas agroflorestais, doravante denominados SAFs, são formas de uso e manejo dos recursos naturais nas quais espécies perenes (árvores, arbustos, palmáceas) são utilizadas em associação com cultivos agrícolas ou com animais no mesmo terreno, de maneira simultânea ou numa sequência temporal (MONTAGNINI, 1992). Esses sistemas têm uma série de vantagens:

- a) Aumento da biodiversidade:** Os sistemas mistos de plantio permitem o aumento da biodiversidade benéfica para o meio ambiente e para o equilíbrio ecológico que tende a reduzir a necessidade de controles químicos;
- b) Redução da temperatura:** As árvores dos SAFs ajudam a reduzir a temperatura do ar por assimilar e refletir para a atmosfera parte da radiação solar incidente no meio. O sombreamento parcial no sub-bosque ameniza a intensidade da energia radiante que aquece as folhas e causa estresse por alta temperatura. Esse estresse térmico resulta em danos, desde oxidativos, onde há gastos metabólicos para recuperar substâncias ou células degradadas pelos radicais livres em detrimento do esforço para a boa produtividade, até danos por escaldaduras, que mutilam as plantas, lesionando folhas, ramos e frutos;
- c) Proteção contra o vento:** As árvores dos SAFs ajudam a proteger as plantações do vento. À medida que aumenta de velocidade, acentua a transpiração ou a demanda de água pelas plantas, além de causar danos às folhas e ramos. Caramori *et al.* (1986) estudaram os efeitos do vento em mudas de cafeeiro 'Mundo Novo' e 'Catuaí Vermelho', e observaram que houve uma redução significativa da altura, área foliar, comprimento de entrenós e matéria seca, quando as plantas foram submetidas a ventos com velocidades superiores a 2 m s^{-1} ($7,2 \text{ km h}^{-1}$). Ventos excessivos podem levar a danos diretos como desfolhas ou danos foliares, quebra de galhos, lesões ou escoriações nos frutos ao se agitarem e baterem contra os ramos, folhas ou espinhos. Borges e Souza (2004) relataram que as perdas por danos causados pelo vento, em bananicultura, podem ser estimadas em 20 a 30%. Segundo esses autores, a maioria das variedades suporta ventos de até 40 km h^{-1} , acima desse valor, a cultura já sofre com danos parciais, tendo suas folhas rasgadas ou até mesmo o tombamento das plantas. Já as variedades de menor porte toleram ventos mais fortes; isso mostra que quanto mais alta a cultura, maiores são os efeitos prejudiciais do vento;
- d) Aumento da qualidade de vida e trabalho:** Um ambiente mais fresco é benéfico para os trabalhadores das plantações, pois pode reduzir o risco de danos à saúde relacionados ao calor, como a desidratação;
- e) Melhoria social das comunidades rurais:** O maior número de espécies dos SAFs pode promover benefícios econômicos e sociais, criando empregos nas

comunidades locais, ajudando a melhorar a renda das pessoas, graças a grande diversidade de alimentos e trabalho a serem desenvolvidos em uma única área, cultivando desde plantas herbáceas, como hortaliças, arbustivas, como cafeeiro, bananeira, arbóreas, como citros, abacateiro, eucaliptos, mognos, etc.

Os SAFs que utilizam múltiplas espécies de cultivos e árvores para melhoria do equilíbrio, e diversidade biológica ou proteção dos solos, podem ser mais efetivos para promover o balanço positivo na assimilação de carbono que sistemas convencionais de monocultivo, onde muito da radiação solar ou energia disponível pode ser menos aproveitada.

A proliferação extensiva dos SAFs poderia ser útil na mitigação dos efeitos estufa, mas encontra obstáculos em suas conduções, notadamente em grandes áreas de cultivos. Isso ocorre porque esses sistemas possuem maior exigência de trabalho manual, já que as múltiplas espécies cultivadas possuem exigências diferentes em termos de podas, conduções, nutrição, controle de pragas e doenças, etc., restringindo a utilização de máquinas agrícolas (Figura 7).



Figura 7 - Sistema SAF de múltiplas espécies. Observa-se que eventualmente há locais com sombra excessiva (imagem à esquerda, círculo azul) que podem reduzir o desenvolvimento dos cultivos, provocando perdas de produtividade de fruteiras, no caso, as bananeiras. Esse fato pode ser observado à esquerda, das bananeiras conduzidas sob os eucaliptos, e na foto à direita, em mudas de limoeiro

Fotos: Camilo Lázaro Medina

Nos SAFs convencionais, as plantas muitas vezes não encontram condições ideais para seu desenvolvimento, se comparadas aos monocultivos. Elas podem estar sujeitas ao sombreamento excessivo, ou competição por água e nutrientes,

que reduzem sua produtividade ao longo do tempo. Muitas espécies demandam múltiplos trabalhos que dificultam a sua manutenção: podas, adubações e manejos fitossanitários são diferenciados para cada espécie. Assim, tem-se que cuidar de citros, bananas, cafés, cacau e árvores de sombra, simultaneamente.

A consorciação entre algumas espécies cultivadas é um aspecto interessante dos SAFs, que vem mostrando sustentabilidade e fácil adoção por pequenos, médios e grandes produtores. Eles, muitas vezes, podem ser considerados relevantes se constituírem de plantas perenes convivendo de forma sistematizada em uma mesma área. Dubois *et al.* (1996) consideram que os SAFs devem apresentar pelo menos uma espécie florestal e que a associação de cafeeiros com citros, bananeira ou cacauzeiro, seria meramente um consórcio de culturas agrícolas. A definição mais ampla de Montagnini (1992) permite considerar o consórcio do café 'Conilon' com coqueiro, por exemplo, como um SAF e uma melhor aproximação da realidade da cafeicultura no Espírito Santo, onde o café pode ser encontrado em consórcio com outras espécies de interesse agrônomo.

Nos consórcios, há escolha de plantas que podem atingir excelente produtividade, mesmo quando associadas com outras. Os diferentes desenvolvimentos entre as espécies escolhidas melhoram o aproveitamento da energia luminosa disponível e, por sua vez, podem fixar mais carbono atmosférico (Figura 8).



Figura 8 - Consórcios de plantas cultivadas podem ser sistemas de maior assimilação do carbono atmosférico, dada a maior cobertura do terreno com folhagem e melhor aproveitamento da luz incidente. Na esquerda, o consórcio de bananeiras e mamoeiros com excelente produtividade e, à direita, bananeiras e pimentas do reino exemplificam o melhor aproveitamento da luz e outros recursos com excelente qualidade e produtividade

Fotos: Camilo Lázaro Medina, na propriedade do Sr. Félix Sakai Thomé, Boa Vista - RR

Como exemplo, a produtividade e a qualidade dos frutos de limões plantados em consórcio com cacauzeiros foram superiores em 20% com relação aos limoeiros

plantados em monocultivo. A produção de laranja 'Monte Parnazo' foi maior em SAF que em cultivo a pleno sol (Gonzatto, 2009). O autor considerou que o sistema pode ser uma alternativa interessante de produção orgânica, principalmente pelos benefícios de níveis moderados de sombreamento em vários aspectos morfofisiológicos das plantas.

O balanço do carbono nesses sistemas dependerá do manejo e de toda energia gasta, desde o preparo e correções do solo, irrigação, adubações, do manejo fitossanitário e da distância do transporte de todos os produtos envolvidos.

6. SAFs fractais para alta produtividade

O sistema agroflorestal Fractal (SAF Fractal) vem sendo desenvolvido por Medina e colaboradores, implantado inicialmente na Fazenda da Lagoa, localizada em Boa Vista, no Estado de Roraima, em pleno cerrado amazônico (Lavrado), sob clima típico das baixas latitudes, altitude ao redor de 84 metros, com temperaturas médias mínimas e médias máximas entre 32 e 38°C, radiação solar intensa (local próximo do equador), com longa estação seca entre setembro e abril, e outra muito chuvosa entre maio e agosto (Figura 9).

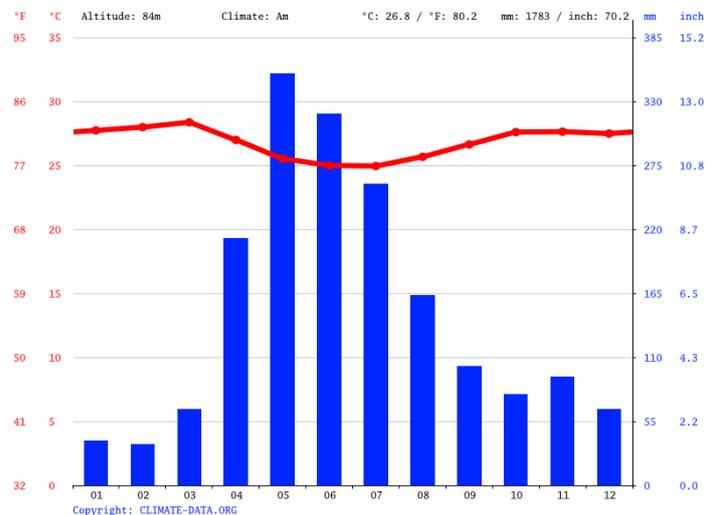


Figura 9 - Temperaturas e precipitações médias entre os meses 1 e 12 (janeiro e dezembro)
 Fonte: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/roraima/boa-vista-3894/#climate-graph>

Chamamos de SAF Fractal, pois promoveu-se a disposição das plantas e talhões de forma a se aproximar dos fractais, que podem ser definidos como objetos auto similares que não são uniformes no espaço e não podem ser descritos de

maneira Euclidiana. A auto semelhança significa que a magnitude muda a escala, mas a forma (a geometria) do fractal não se altera (Gefen, 1987). Não obstante da auto similaridade, os fractais possuem infinitos detalhes, infinitas dimensões (dimensões fractais) e são gerados por interação (Briggs; Peat, 1989). Na natureza são encontradas uma infinidade de fractais e até as florestas naturais se desenvolvem na paisagem sob modelos fractais.

Nos SAFs Fractais, parte-se de uma unidade, ou talhão, que poderá ser expandida e replicada no terreno. O espaçamento entre as plantas cultivadas para fins comerciais e das árvores de sombra, ou de exploração secundária, é arranjado para melhorar o aproveitamento da energia solar disponível em prol da produtividade e eficácia do sistema. As árvores escolhidas para o sombreamento devem ser de crescimento rápido, de folhagem com boa permeabilidade à luz ao longo do dia, de forma a exercer sombreamento parcial que beneficie a cultura sob suas copas, restringindo o excesso de radiação. É necessário que suas copas sejam altas e ultrapassem pelo menos 2 metros acima das plantas no sub-bosque para permitir boa permeabilidade da luz, entre 7:00 e 10:00, ou 14:00 e 15:00 horas, quando os raios do sol estão mais inclinados e de menor intensidade, mas que possam se difundir e penetrar no sistema (Figura 10).



Figura 10 - Representação do modelo de árvores de sombra sobre um cultivo de laranjeiras ou outra fruteira que se beneficie do sombreamento parcial. No caso, as copas dessas árvores devem estar em aproximadamente 2 metros acima da copa das laranjeiras para permitir que o sol (representado pela parte mais clara à direita), nas horas em que está mais próximo do horizonte, seja no início do dia, ou final da tarde, possa penetrar e se difundir por entre as copas das laranjeiras, ativando, desde cedo, a fotossíntese

Mesmo que essas plantas atinjam esses requerimentos, faz-se necessário o manejo com podas ou desbastes de algumas dessas árvores ao longo do tempo para que os requerimentos de intensidade de luz sejam atingidos. Devem ser evitadas árvores que exerçam efeitos alelopáticos, ou seja, que inibam o crescimento das plantas ao seu redor por processos bioquímicos que estão além da competição por água e nutrientes. Quanto à competição por recursos, sistemas radiculares mais profundos que da cultura de maior importância podem ser interessantes do ponto de vista de reciclagem de nutrientes.

As árvores para sombreamento devem ser plantadas na própria linha das plantas de cultivo principal, de forma a possibilitar tratos culturais mais ordenados e sem obstáculos. No SAF Fractal, a maior diversidade de plantas ou árvores pode ser atingida nas divisas e carregadores, e em todo perímetro das quadras (Figura 11).



Figura 11 - Plantios de árvores em sistemas fractais de *Albizia niopoides* como sombreamento natural para laranjeiras em Boa Vista, RR. Na parte da frente da foto, a área controle sem o sombreamento

Foto: Camilo Lázaro Medina (set. 2023)

Espécies nativas, e mesmo exóticas, podem ser plantadas e destinadas como cortinas de quebra vento: produção de madeiras, frutas, palmitos, etc. (Figura 12).



Figura 12 - Quebra ventos formados por espécies nativas como o Mogno e o Jambolão, que se ligam ao fundo nos igarapés e reservas, formando corredores ecológicos entre as quadras de pomares em desenvolvimento com outras árvores de sombra (Boa Vista, RR, 2023)

Podem ser dadas as frequências de plantios de espécies nativas à semelhança do ambiente natural, se assim for importante para a ecologia do sistema, ou mesmo multiplicar nessas linhas espécies locais ameaçadas de extinção. Nas margens voltadas ao sol nascente ou poente, margens leste e oeste, recomenda-se plantar árvores de porte mais baixo, ou que tenham menor densidade na linha e, assim, permitirem a entrada da luz no início, ou final do dia, na parte central da quadra. Nas margens ou carregadores dispostos na orientação Norte-Sul, o agricultor pode plantar maior densidade de plantas e número de espécies, contendo arbustos, plantas herbáceas, ornamentais, ou plantas comestíveis, conduzidas sob suas copas, pois além de proporcionarem alimentos ou rendas diversas, terão maior facilidade de condução, trânsito para os tratamentos, colheita, etc. Esses corredores de plantas das divisas se interligam até as matas ou reservas da propriedade para integração da fauna e flora. O modelo SAF Fractal pode ser observado na Figura 13.

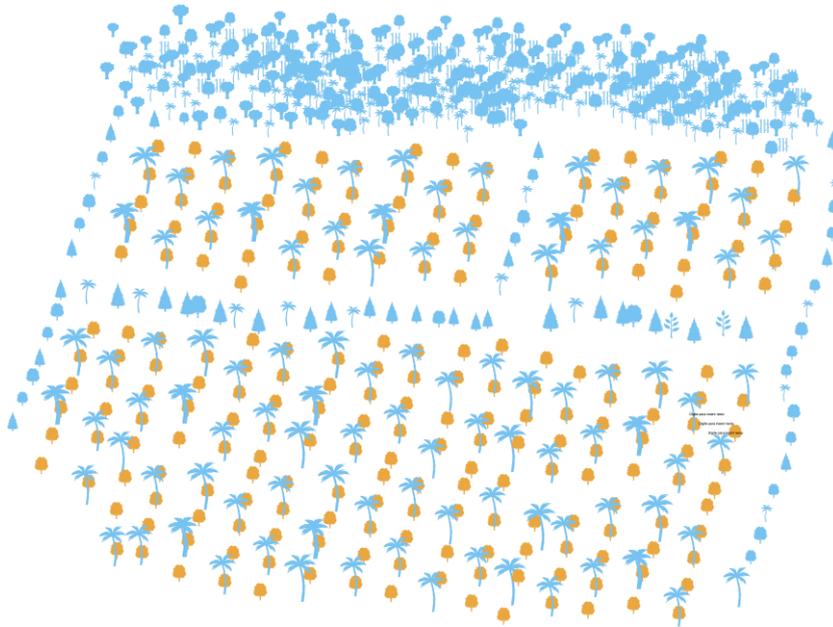


Figura 13 - Modelo sugerido para as fazendas Fractais: Nele, pode-se observar a cultura principal (laranja), ordenada e integrada com a floresta (parte superior da figura, em azul, densa, composta pela floresta nativa de reserva, preservação, ou mata ciliar). O sombreamento parcial representado pelas palmeiras deve ser manejado com poda ou desbaste para que o nível de sombreamento pretendido seja obtido ao longo do tempo. Nas margens, ou carregadores, são plantadas árvores com diferentes objetivos como quebra-ventos, exploração de madeira, frutos, flores, etc. Essas fileiras são compostas de espécies nativas que se integram com a reserva e permite corredores ecológicos e maior diversidade ao sistema produtivo. O sistema permite ordenação dos plantios, dos trabalhos mecânicos, manuais, etc., que proporcionam maior produtividade e sustentabilidade

No projeto original de SAF Fractal desenvolvido por Medina, conduzido em Boa Vista, RR, a produtividade local das laranjeiras é reduzida se comparada com áreas mais produtivas e adaptados aos climas subtropicais, como no Sudeste ou Sul do Brasil, onde facilmente ultrapassa 36 toneladas de frutos por hectare, enquanto que no Estado de Roraima, a produtividade média está em 15,52 toneladas de frutos por hectare (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2022). Essa baixa produtividade pode ser explicada pelas diferenças nas condições climáticas e edáficas.

As laranjeiras, originárias do sudeste asiático de ambientes de sub-bosque, com caráter mesofítico, crescem muito bem com temperaturas médias ao redor de 20°C, enquanto que Boa Vista (Figura 9) possui temperaturas ao redor de 25°C.

Na Amazônia, nos horários mais quentes do dia, em condições de baixa umidade do ar, as quais são frequentes na estação seca do cerrado amazônico, há alta demanda de água pela atmosfera, dado o grande déficit de pressão de vapor que se estabelece, notadamente no período mais seco do ano, como ocorre entre

setembro e abril no lavrado de Boa Vista. A taxa de evapotranspiração pode ultrapassar 7 mm ao dia e sabe-se que a fixação de frutos é reduzida gradativamente quando ultrapassa 4 mm por dia (Mechlia; Carroll, 1989). Nessas condições de alta demanda de água, com grande déficit de pressão de vapor na atmosfera, os citros tendem a fechar os estômatos para evitar que as folhas se desidratem acentuadamente, num mecanismo de tolerância que funciona bem em locais de estação seca e fria (Medina *et al.*, 2002). Contudo, em locais de alta temperatura o fechamento dos estômatos dificulta a perda do calor pela transpiração, o que resulta em aquecimento. Nessas condições, as folhas podem atingir a temperatura de até 7°C acima da temperatura do ar. Mesmo que haja água disponível no solo, a resistência hidráulica para a água sair das raízes e chegar até as folhas faz com que a taxa de transpiração seja maior que a reposição, levando as folhas à desidratação ou queda do seu potencial hídrico, que leva à queda da taxa fotossintética (Medina *et al.*, 2002). Essas condições de estresse por temperatura podem se desenvolver ao longo do tempo e reduzir a produtividade das laranjeiras.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) necessária para saturar e atingir a máxima taxa de assimilação de CO₂ atmosférico por uma folha de citros e muitas fruteiras com origem no sub-bosque, está próxima de 650 mmol m⁻² s⁻¹. Em plena radiação solar, esse valor se aproxima de 2.000 mmol m⁻² s⁻¹, ou seja, pouco mais que 30% da radiação máxima durante o dia é suficiente para se obter a maior taxa de assimilação do carbono atmosférico pela fotossíntese (Medina *et al.*, 2005). Assim, um ligeiro sombreamento natural dos fractais poderia trazer benefícios aos citros, ao reduzir o excesso de radiação e o aquecimento das folhas, da mesma forma que os sombreamentos artificiais proporcionaram o desenvolvimento e a produtividade das laranjeiras (Medina *et al.*, 2002; Jifon; Syvertsen, 2003; Cohen *et al.*, 2005).

No exemplo desenvolvido por Medina, todo sistema recebeu fertirrigação por gotejamento, inclusive as plantas das linhas das divisas e carregadores. Albizias que foram plantadas como árvores de sombra cresceram mais rapidamente que as laranjeiras e passaram a exercer sombreamento parcial, logo no segundo ano de plantio. Como resultado, os citros se desenvolveram muito bem nessas condições, pois as laranjeiras não perderam em altura, ou no volume das copas em relação ao controle não sombreado. Laranjeiras sem o sombreamento apresentaram muitas

escaldaduras, que levaram a desfolhas e perda de vigor das árvores durante o período de maior insolação.

A redução da radiação solar foi de aproximadamente 34% ao longo do dia nas áreas sombreadas. Essa redução na energia incidente conferiu redução na temperatura das folhas em aproximadamente 4,5°C, principalmente nos horários mais quentes e de maior quantidade de luz disponível do dia. De fato, se observarmos no trabalho com o sombreamento de *Albizia*, a temperatura das folhas foi maior nas áreas a pleno sol (Figuras 14 e 15).

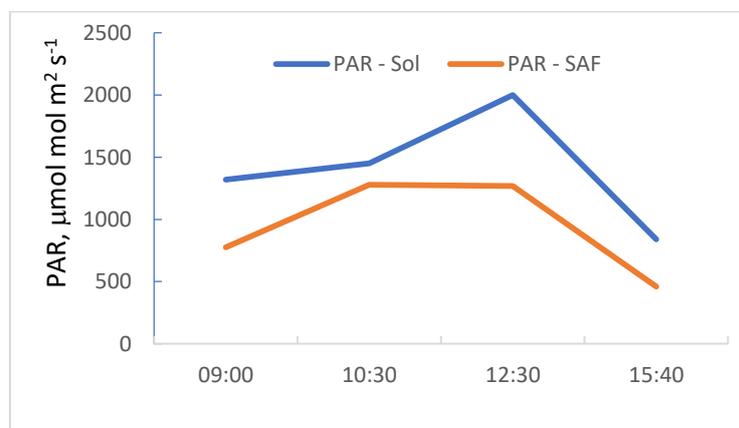


Figura 14 - Redução da radiação fotossintética ativa (PAR), ao longo do dia em pomar de laranja sob sombreamento natural e parcial, obtido com plantios intercalares de *Albizia niopoides*, sendo PAR-Sol a radiação fotossinteticamente ativa em pleno sol ao longo do dia, e PAR-SAF sob sistema agroflorestal fractal (Boa Vista, RR, nov. 2023)

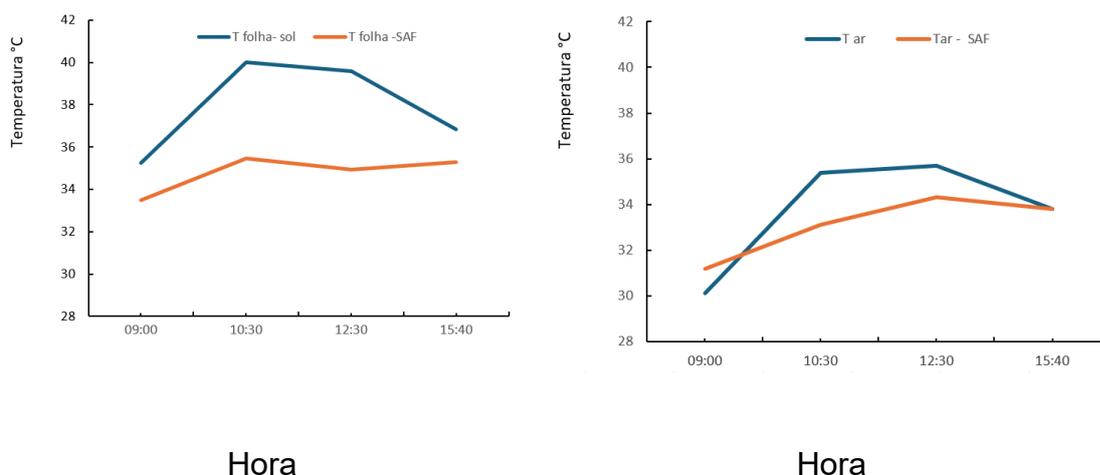


Figura 15 - O gráfico da esquerda, a linha em azul representa a temperatura das folhas de laranjeiras 'Natal' em pleno sol, e em laranja, a temperatura das folhas submetidas ao sombreamento leve obtido por *Albizia niopoides*, com redução de aproximadamente 34% da radiação total. À direita, temperatura do ar interna à sombra (laranja) e externa ao sol fora do SAF (azul). Dados obtidos em dia ensolarado de novembro de 2023

A radiação solar fotossintética ativa no SAF Fractal foi monitorada pelo menos uma vez a cada 6 meses, medindo-se com um radiômetro de boa qualidade. As determinações foram realizadas acima da copa das laranjeiras. Também se adotaram podas e desbastes das árvores quando a redução da luz superou 50% da radiação incidente. Essa operação deve garantir a boa produtividade ao longo do tempo, sendo que a massa das árvores cortadas é deixada ao solo após a retirada da madeira para outros usos. Isso garantirá que parte do carbono e dos nutrientes sejam fixados no solo como humus ou reciclados pelas laranjeiras (Figura 16)



Figura 16 - Restos vegetais do desbaste de árvores de sombra em fractais. Observa-se a massa deixada sobre as entrelinhas que irão enriquecer o solo em carbono e outros nutrientes minerais e orgânicos (Boa Vista, RR, 2023)

A produtividade na primeira colheita no SAF Fractal foi 30% maior, com as árvores apresentando frutos de melhor qualidade, menores danos com o sol ou escoriações causadas por vento. Medina *et al.* (2002), observaram experimentalmente o desenvolvimento superior das mudas de laranjeiras em cultivo protegido, com redução em 50% da radiação solar disponível, através de um sombreamento com tela aluminizada que reflete e promove maior difusão da luz (Aluminet-Polysack). Essas condições proporcionaram menor temperatura das folhas, maior abertura dos estômatos, maior taxa fotossintética e maior eficiência da utilização da luz. As plantas cresceram mais e ficaram prontas para o plantio 2 meses antes do controle, com a proteção de um filme plástico transparente de baixa densidade com redução de apenas 15% da radiação incidente. Esse resultado pode

ser explicado pela taxa de fotossíntese das laranjeiras saturar em aproximadamente $700 \text{ mmol m}^2\text{s}^{-1}$ e o excesso de radiação poder degradar componentes foliares, exigindo gastos de energia da planta para a sua recuperação. Com menor temperatura das folhas, os estômatos permaneceram abertos e atingiram maior assimilação do CO_2 , mesmo nas horas mais quentes do dia. Reforça-se ao fato que as folhas das laranjeiras apresentam plasticidade fenotípica quando submetidas por alguns dias sob radiação solar abaixo da saturação. Sob certos limites, elas podem acumular mais clorofila para compensar a menor radiação e captar a energia disponível com mais eficácia (Syvertsen, 1984).

A experiência das árvores de sombra, no caso de *Albizia niopoides* e outras leguminosas, vêm contribuindo com a fixação de nitrogênio e reciclagem dos nutrientes. De fato, observou-se que a cobertura do solo no sistema SAF foi superior ao cultivo sem sombra. Esse aspecto parece fundamental para uso em sistemas produtivos de alta produtividade que visam créditos de carbono e uma real contribuição para a saúde do planeta e sua regeneração (Figura 17).



Figura 17 - As fotos à esquerda mostram a cobertura das entrelinhas em laranjeiras sem arborização do SAF Fractal, e, à direita, com a arborização de *Albizia niopoides*. É possível verificar a maior cobertura e produção de massa no sistema SAF Fractal, proporcionado pela leguminosa, manejada para obtenção de um sombreamento com 40% de redução da radiação solar incidente na linha da cultura

Fotos: Fernando Olmedo (Boa Vista, RR, 2023)

Referências

ALMEIDA, S.P. et al. **Cerrados**: espécies vegetais úteis. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1998. 464 p.

BORGES, A.L.; SOUZA, L.S. Exigências edafoclimáticas. In: BORGES, A.L.; SOUZA, L.S. (Ed.). **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. cap. 1, p. 15-23.

BRIGGS, J.; PEAT, F.D. **Turbulent mirror**. NewYork: Harper and Row, 1989. 222 p.

CARAMORI, P.H. et al. Efeitos do vento sobre mudas de cafeeiro Mundo Novo e Catuaí Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21 n. 11, p. 1113-1118, 1986.

CHARLES-EDWARDS, D.A. **Physiological determinants of crop growth**. New York: Academic Press, 1982. 161 p.

COHEN, S. et al. Response of citrus tree to modified radiation regime in semi-arid conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 48, n. 306, p. 35-44, 1997.

COHEN, S. et al. Physiological responses of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 107, p. 25-35, 2005.

CORLETA, A.G. **Ecologia da regeneração de espécies arbóreo-arbustivas em savanas: o papel das árvores nucleadoras**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Dinâmica de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2008.

DOVIS, V.L. et al. Roots are important source of carbohydrates during flowering and fruiting in 'Valência' sweet orange trees with varying fruit load. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 174, p. 87-95, 2014.

DUBOIS, J.C.L.; VIANA, V.M.; ANDERSON, A.B. **Manual agroflorestal para a Amazônia**. Rio de Janeiro: REBRAAF, 1996. v. 1, 228 p.

GEFEN, Y. Fractais. In: HEDGPETH, J.W. (Ed.). **McGraw-Hill encyclopedia of science and technology**. New York: McGraw-Hill, 1987. v. 7, p. 391-392.

GONZATTO, M.P. **Desenvolvimento e produção de citros em sistema agroflorestal**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

HARVEY, G.W. Photosynthetic performance of isolated leaf cells from sun and shade plants. **Carnegie Institution of Washington Yearbook**, Washington, v. 79, p. 161-164, 1979.

JIFON, J.L.; SYVERTSEN, J.P. Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. **Tree Physiology**, Victoria, v. 23, p. 119-127, 2003.

MECHLIA, N.B.; CARROLL, J.J. Agroclimatic modeling for the simulation of phenology, yield and quality production. **International Journal of Biometeorology**, Leiden, v. 33, n. 1, p. 36-51, 1989.

MEDINA, C.L. et al. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 96, n. 1/4, p. 115-125, Dec. 2002.

MEDINA, C.L. et al. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, J.D. et al. (Ed.). **Citros**. Cordeirópolis: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, 2005. v. 1, p. 147-195.

MONTAGNINI, F. **Sistemas agroflorestales: principios y aplicaciones en los trópicos**. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

SYVERTSEN, J.P. Light acclimation in citrus leaves. II. CO₂ assimilation and light, water and nitrogen use efficiency. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 109, n. 6, p. 812-817, 1984.