

Gustavo Brunetto  
William Natale  
Danilo Eduardo Rozane  
Leandro Hahn  
Gilberto Nava



# MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PESSEGUEIROS



ISBN 659673650-4





# **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de pessegueiros**



# **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de pessegueiros**

Editores

Gustavo Brunetto  
William Natale  
Danilo Eduardo Rozane  
Leandro Hahn  
Gilberto Nava

Santa Maria – RS  
2026

© dos editores

**Direitos reservados desta edição:** *Os Editores: Gustavo Brunetto, William Natale, Danilo Eduardo Rozane, Leandro Hahn e Gilberto Nava*

Capa: *J. Gilson Brasil*

Foto da capa Editores: *Gustavo Brunetto, William Natale, Danilo Eduardo Rozane, Leandro Hahn e Gilberto Nava, os Editores*

Editoração: *JGB design – J. Gilson Brasil*

Revisão de Texto: *Os Editores*

Revisão final: *Os Editores*

Revisão de provas: *Os Editores*

Impressão: *Gráfica e Editora Pallotti*

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra por qualquer meio sem a autorização prévia dos Editores Gustavo Brunetto, William Natale, Danilo Eduardo Rozane Leandro Hahn e Gilberto Nava. Eventuais citações de produtos ou marcas comerciais têm o propósito de tão somente orientar o leitor, mas não significam endosso aos produtos.

---

M274      Manejo da fertilidade do solo e nutrição de pessegueiros  
              / Gustavo Brunetto ...[et al.] – Santa Maria, RS : Os  
              Autores, 2026  
              370 p. : il.  
              ISBN : 978-65-987385-0-1  
              1. Persicultura – Brasil 2. Solo – fertilidade – manejo  
              I. Brunetto, Gustavo

CDU 631.452

---

Ficha catalográfica elaborada por Eunice de Olivera – CRB 10/1491

# Sumário

*Apresentação*.....15

*Agradecimentos*.....19

## Capítulo 1

### Aspectos históricos da Persicultura no Brasil

Maria do Carmo Bassols Raseira, Rodrigo Cezar Franzon, Newton Alex Mayer.....21

Resumo.....21

1. Introdução.....22

2. Origem e disseminação do pessegueiro.....23

3. O pessegueiro no Brasil.....26

    3.1 A indústria Conserveira.....32

4. O melhoramento genético do pessegueiro no Brasil.....37

5. Histórico sobre as cultivares copa lançadas pelo melhoramento genético  
do pessegueiro da Embrapa.....41

6. Histórico sobre porta-enxertos para pessegueiro no Brasil.....50

7. Considerações finais.....58

8. Referências Bibliográficas.....59

## Capítulo 2

### Cultivares de pessegueiro tolerantes à toxidez de alumínio

Luciane Almeri Tabaldi, Marcos Vinícius Miranda Aguilar, Gerâne Silva Wertonge,  
Carina Marchesan, Gustavo Brunetto, Newton Alex Mayer.....67

Resumo.....67

1. Introdução.....68

2. Acidez em solos e disponibilidade de alumínio.....	71
3. Cultivares e seleções de porta-enxertos do gênero <i>Prunus</i> spp.....	74
3.1. Sistemas de produção nos viveiros e qualidade de mudas.....	76
3.2. Programas de melhoramento genético de porta-enxertos <i>Prunus</i> spp. e tolerância ao alumínio.....	81
3.3. O trabalho de seleção de porta-enxertos de <i>Prunus</i> spp. na Embrapa Clima Temperado.....	83
4. Impactos negativos do alumínio em plantas.....	87
4.1 Inibição do crescimento de raízes.....	89
4.2 Redução na absorção de água e nutrientes.....	90
4.3 Redução na capacidade fotossintética das plantas.....	91
4.4 Estresse oxidativo e danos celulares.....	91
5. Estratégias de tolerância ao alumínio em pessegueiros.....	92
6. Desafios da integração da tolerância ao alumínio em pessegueiros com características agronômicas de interesse comercial.....	96
7. Considerações finais.....	98
8. Referências Bibliográficas.....	99

### Capítulo 3

## Seleção de cultivares de pessegueiro mais eficientes na absorção de nutrientes - Betania Vahl de Paula, William Natale,

Carina Marchezan, Gustavo Brunetto.....107

Resumo.....	107
1. Introdução.....	108
2. Protocolo para a estimativa de parâmetros cinéticos em pessegueiros.....	110
3. Resultados sobre a cinética de absorção de nitrogênio em pessegueiros.....	112
4. Aplicabilidade do conhecimento dos parâmetros cinéticos.....	116
5. Considerações finais.....	118
6. Referências Bibliográficas.....	120

## Capítulo 4

### Amostragem e preparo de amostras de solo e folhas em pomar de pessegueiro - William Natale, Adriana

Guirado Artur, Antonio João de Lima Neto, Douglas Luiz Grando.....123

Resumo.....	123
1. Introdução.....	124
2. Importância da análise de solo e da análise de folhas para o adequado manejo dos pomares de pessegueiro.....	127
3. Amostragem e preparo das amostras de solo.....	130
4. Interpretação da análise química de solo.....	134
5. Amostragem e preparo das amostras de folhas.....	137
6. Interpretação da análise química de folhas.....	142
7. Considerações finais.....	147
8. Referências Bibliográficas.....	150

## Capítulo 5

### Estimativa de nutrientes em folhas de pessegueiro por espectroscopia Vis-NIR-SWIR - Jean Michel Moura-Bueno,

Jacson Hindersmann, Adrielle Tassinari, Bruna Trevizan Paese.....153

Resumo.....	153
1. Introdução.....	154
2. Espectroscopia na região do Vis-NIR-SWIR.....	157
2.1 Princípios da espectroscopia.....	157
2.2 Pré-processamentos de dados espectrais de folhas.....	163
2.3 Calibração de modelos de predição de nutrientes em folhas.....	165
3. Aplicação da espectroscopia Vis-NIR-SWIR na estimativa de nutrientes em folhas.....	168
3.1 Modelos de predição.....;	169

3.2 Modelos de predição aplicação na estimativa de nutrientes em folhas de pessegueiro.....	171
4. Potencial, limitações e perspectivas futuras da espectroscopia Vis-NIR-SWIR.....	173
5. Considerações finais.....	175
6. Referências Bibliográficas.....	176

### *Capítulo 6*

## **Estimativa do estado nutricional em pessegueiros**

Jean Michel Moura-Bueno, Jacson Hindersmann, Bruna Trevizan Paese,

Gustavo Brunetto, Gilberto Nava, Danilo Eduardo Rozane, Antonio João de Lima Neto.....

Resumo.....	181
Introdução.....	182
1. Métodos de diagnóstico nutricional.....	184
2. Valores de referência de nutrientes no solo.....	193
3. Valores de referência de nutrientes nas folhas.....	194
4. Considerações finais.....	198
5. Referências Bibliográficas.....	199

### *Capítulo 7*

## **Calagem e gessagem em pomares de pessegueiro**

Gilberto Nava, Álvaro Luiz Mafra, Gustavo Brunetto, William Natale.....

Resumo.....	203
1. Introdução.....	204
2. Calagem em pré-plantio.....	205
3. Calagem em pomares adultos e com problemas de acidez.....	209
4. Gessagem em pomares adultos.....	211
5. Considerações Finais.....	216

6. Referências Bibliográficas.....	217
------------------------------------	-----

### *Capítulo 8*

## **Adubação em pomares de pessegueiro no**

## **Rio Grande do Sul**

- Gustavo Brunetto, Carina Marchezan,

Paola Daiane Welter, Danilo Eduardo Rozane, William Natale, Leandro Hahn,

Gilberto Nava, Jean Michel Moura-Bueno, Jacson Hindersmann.....

221
-----

Resumo.....	221
1. Introdução.....	222
2. Adubação de pré-plantio.....	224
3. Adubação de crescimento .....	227
4. Adubação de produção.....	230
4.1 Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes.....	231
4.2 Doses, fontes e modos de aplicação.....	237
5. Adubação foliar em pessegueiro.....	239
6. Uso de bioinsumos na fertilidade do pessegueiro.....	242
7. Considerações finais.....	245
8. Referências Bibliográficas.....	245

### *Capítulo 9*

## **Adubação em pomares de pessegueiro**

## **em Santa Catarina**

- Leandro Hahn, Gilberto Nava.....

249
-----

Resumo.....	249
1. Introdução.....	250
2. Solos para cultivo de pêsego em Santa Catarina.....	250
3. Diagnóstico da fertilidade do solo em pomares de SC.....	252
4. Adubação do pessegueiro.....	255
5. Crescimento, produção e qualidade de frutos de pessegueiro em resposta à adubação nitrogenada.....	256

6. Valores de referência de nutrientes em folhas de pessegueiros.....	263
7. Considerações finais.....	266
8. Referências Bibliográficas.....	267

### Capítulo 10

## Manejo de Micronutrientes em Pessegueiro

Gilberto Nava, Frederico Costa Beber Vieira, Leandro Hahn.....269

Resumo.....	269
1. Introdução.....	270
2. Interpretação da disponibilidade micronutrientes no solo.....	271
3. Micronutrientes em pré-plantio.....	271
4. Aplicação de micronutrientes via foliar.....	273
5. pH do Solo e a disponibilidade de micronutrientes.....	276
6. Matéria Orgânica e disponibilidade de micronutrientes.....	277
7. Funções e sintomas de deficiência de micronutrientes.....	278
8. Considerações Finais.....	288
9. Referências Bibliográficas.....	289

### Capítulo 11

## Uso de plantas de cobertura em pomares de pessegueiro

(*Prunus persica* L. Batsch) - George Wellington Bastos de Melo,

Vinicius Ide Franzini, Guilherme Wilbert Ferreira, Lucas Dupont Giumbelli,  
Michelle Barbosa Teixeira-Loss, Arcângelo Loss.. .....291

Resumo.....	291
1. Introdução.....	292
2. Conceitos e benefícios das plantas de cobertura.....	295

3. Os critérios para escolha das espécies de plantas de cobertura devem considerar múltiplos fatores inter-relacionados.....	300
4. Manejo e espécies mais utilizados em pomares de pessegueiro.....	301
4.1 Leguminosas.....	302
4.2 Gramíneas.....	310
4.3 Outras espécies.....	318
5. Interações com o Pessegueiro.....	321
6. Estudos de caso e pesquisas recentes.....	324
6.1. Impacto nas propriedades físicas do Solo: mitigação da compactação e melhoria da infiltração.....	325
6.2. Impacto nas propriedades químicas do solo: ciclagem de nutrientes e matéria orgânica.....	326
6.3. Resposta da planta e qualidade do fruto: desenvolvimento vegetativo e reprodutivo.....	327
7. Considerações finais.....	327
8. Referências Bibliográficas.....	331

## *Capítulo 12*

### **Perspectivas futuras relacionadas a estimativa do estado nutricional, calagem e adubação em pomares**

**de pessegueiros** - Gustavo Brunetto, Paola Daiane Welter, Danilo Eduardo Rozane, Leandro Hahn, William Natale.....345

Resumo.....	345
1. Introdução.....	346
2. Perspectivas relacionadas à calagem e à gessagem.....	347
3. Perspectivas relacionadas à adubação.....	352

4. Perspectivas relacionadas a adubação foliar.....	357
5. Perspectivas relacionadas à estimativa do estado nutricional.....	360
6. Considerações finais.....	362
7. Referências Bibliográficas.....	362

## *Apresentação*

Os desafios impostos pela explosão populacional nos últimos duzentos anos, pelo incremento da longevidade humana no século passado, pela mudança nos hábitos alimentares das pessoas em busca de uma vida mais saudável e com qualidade nas últimas décadas (que inclui maior consumo de frutas na dieta) e, mais recentemente, devido a compreensão sobre os efeitos das alterações climáticas, têm pressionado cada vez mais a exploração dos solos.

O solo, entretanto, é um recurso com extensão finita, propenso à degradação (natural ou por ação antrópica) e não renovável ao longo da escala de tempo humana, que é de décadas, cujo papel é imprescindível para garantir a segurança alimentar mundial, visto que 95% de tudo que consumimos advém de seu cultivo, o que exige medidas eficazes para a manutenção da qualidade/saúde do sistema, a fim de garantir a adequada nutrição vegetal. Nunca é demais ressaltar, que desde os primórdios da civilização, a agricultura se tornou a primeira ocupação profissional do Homem, o que permitiu seu sustento.

O Agronegócio brasileiro é extremamente pujante e, dentre suas atividades, a produção de frutas se destaca, especialmente para atender

ao mercado interno, tendo em vista o constante crescimento da demanda. Isso se deve a percepção de que as frutas são alimentos saudáveis, com baixos níveis calóricos, ricos em fibras, vitaminas e sais minerais, e que contribuem para preservar a saúde humana, além de prevenir diversas enfermidades.

O pessegueiro é uma planta de regiões temperadas, que encontrou no Brasil condições climáticas favoráveis ao seu pleno desenvolvimento, em especial nos estados do Sul do país. Apesar do clima ser satisfatório, os solos das áreas nos quais os pomares dessa frutífera estão implantados são ácidos e com baixa fertilidade natural, necessitando de ajustes, a fim de atender às demandas nutricionais das plantas. Mesmo com esses problemas edáficos, as práticas de correção da acidez, melhoria da fertilidade e manejo dos pomares são bem conhecidas e estudadas, permitindo a superação dessas limitações químicas e a obtenção de altos rendimentos, quando as técnicas são aplicadas de forma correta.

O livro *Manejo da Fertilidade do Solo e Nutrição de Pessegueiros* aborda esse tema de modo abrangente e profundo, considerando as muitas diferenças entre o manejo dos pomares de frutas, comparativamente ao cultivo de plantas anuais. A publicação contempla, também, de forma clara e objetiva os mais recentes resultados de pesquisas aplicadas à persicultura, que representam muitos anos de experimentação realizadas em laboratório, em casa de vegetação e no campo pelos autores.

Esta publicação tem origem na demanda do setor produtivo de pêssegos nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que têm a maior área cultivada e, por conseguinte, contribuem com expressiva parcela da produção da fruta no Brasil.

A obra representa o somatório da experiência e da vivência de professores, pesquisadores, técnicos e grupos de estudantes de diversas Universidades, Institutos de Ensino e Centros de Pesquisa do Brasil, que elaboraram os vários capítulos que a compõe, e que muito contribuirá para a evolução da cadeia produtiva do pêssego.

O desafio atual para o setor não é demonstrar a importância dos resultados de pesquisas, já há muito tempo reconhecida, mas sim, transformar o conhecimento científico em estratégias que alcancem o produtor rural. Nunca é demais ressaltar, também, a exigência de retorno econômico ou de melhoria do produto colhido, a fim de convencer o fruticultor a adotar uma nova ferramenta de manejo; afinal, sem lucro não se mantém a atividade. Assim, os 12 capítulos englobam de modo detalhado e prático os parâmetros necessários ao adequado manejo das áreas exploradas com o pessegueiro, bem como os aspectos mais importantes para obter resultados econômicos viáveis. O livro enfoca, mas não se limita, a calagem, a adubação, a nutrição e ao manejo dos pomares, objetivando atender um mercado cada vez mais exigente e diversificado. Os capítulos abrangem: um breve histórico; cultivares tolerantes a toxidez de alumínio; seleção de cultivares eficientes na absorção de nutrientes; amostragem de solo e folhas; estimativa do estado nutricional por vários métodos; manejo da

calagem, gessagem e adubação em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul; uso de micronutrientes; emprego de plantas de cobertura nos pomares; e, perspectivas futuras.

A publicação é destinada a estudantes de graduação e pós-graduação, engenheiros agrônomos, técnicos, extensionistas, pesquisadores, professores, empresários agrícolas e a todos os interessados no aprimoramento do arranjo produtivo do pêssego no País, sempre com ênfase na melhoria da produtividade, da qualidade dos frutos colhidos, mas, também, na racionalização do uso de insumos, ambientalmente sustentável a longo prazo, economicamente viável e socialmente responsável.

Temos certeza de que ninguém finalizará a leitura deste livro sem a percepção de que valeu a pena.

Os Editores

# *Agradecimentos*

A publicação deste livro somente foi possível graças à cooperação entre Instituições Públicas e Privadas, cujas parcerias foram fundamentais para responder à crescente demanda de segmentos do Agronegócio, como a persicultura, visto o papel relevante dessa frutífera na geração de renda, emprego e preservação ambiental.

Estendemos nossos sinceros agradecimentos aos autores e coautores dos capítulos desta obra, profissionais renomados de Universidades, Institutos de Ensino e Centros de Pesquisa do Brasil, bem como às Equipes de estudantes de vários níveis, que contribuíram de forma voluntária e graciosa elaborando e enriquecendo os textos com informações técnicas e científicas sobre as estratégias de manejo da fertilidade do solo e da nutrição do pessegueiro. Todos, colegas da academia e do setor técnico, empenhados na busca de soluções para as demandas da cadeia produtiva dessa frutífera, sempre à luz da **Ciência**.

Nunca é demais lembrar: *a Ciência precisa da Universidade e o Brasil precisa da Ciência.*

Reconhecimento especial as Empresas ASPROFRUTA, ALLTECH, MOSAIC e SICREDI pelo apoio financeiro, bem como a JGB design pela diagramação, assegurando a qualidade do livro.



## Capítulo 1

# Aspectos históricos da Persicultura no Brasil

Maria do Carmo Bassols Raseira<sup>(1)</sup>  
Rodrigo Cezar Franzon<sup>(2)</sup>  
Newton Alex Mayer<sup>(3)</sup>

### Resumo

Originário da China, o pessegueiro [*Prunus persica* (L.) Batsch] foi levado para vários países do mundo, chegando ao Brasil por volta de 1532, trazido pela expedição portuguesa de Martim Afonso de Souza para a Capitania de São Vicente. Na região Sul foi onde o pessegueiro melhor se estabeleceu. O clima, embora não tipicamente temperado, favoreceu seu cultivo, quando comparado às demais regiões brasileiras. Entretanto, foram os programas de melhoramento genético, visando o desenvolvimento de cultivares menos exigentes em frio hibernal, os maiores responsáveis pela expansão da cultura no país. Hoje, essa espécie ocupa uma área de quase 16 mil ha e gera uma produção superior a 200 mil t, com um valor total da produção em torno de R\$ 646 milhões. Aproximadamente 65 % dessa produção está no Rio Grande do Sul, onde cerca de 1.500 famílias têm no pessegueiro a sua principal fonte de renda. Portanto, será abordada um pouco da história da disseminação do cultivo do pessegueiro no Brasil, a influência que teve a pesquisa e, principalmente, o melhoramento genético na expansão da cultura. Será narrada, também, a história do pêssigo do tipo indústria, para entender a razão pela qual até hoje ele é parte da

---

<sup>(1)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Plant Science, Pesquisadora aposentada da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: mbassolsraseira@gmail.com

<sup>(2)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciências, Pesquisador na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: rodrigo.franzon@embrapa.br

<sup>(3)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Pesquisador na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: alex.mayer@embrapa.br

cultura e da tradição na metade sul do Rio Grande do Sul. Por outro lado, sabe-se que o desenvolvimento de porta-enxertos não acompanhou o mesmo ritmo dos programas de desenvolvimento de cultivares copa. Parte do motivo está na facilidade que ainda existe para a obtenção de caroços nas indústrias conserveiras para produção de porta-enxertos e no fato de que, até há alguns anos, se desconhecia um problema limitante a esse uso – exceto a desuniformidade das plantas do pomar – e às dificuldades para desenvolvimento de porta-enxertos (tempo e recursos). Finalmente, de forma breve, serão apresentadas considerações sobre a situação presente e perspectivas futuras, considerando as demandas dos produtores e da pesquisa.

**Palavras-chave:** pêssego, cultivares, melhoramento genético, porta-enxerto.

## **1. Introdução**

O pessegueiro (*Prunus persica*) se destaca como uma das cinco espécies da família Rosaceae mais importantes, no mundo. Em 2023, foi cultivado em pelo menos 78 países, ocupando o 5º lugar em área cultivada (mais de 1,5 milhão de ha) e o 3º lugar em volume de produção (mais de 27 milhões de toneladas). A China (884,3 mil ha) lidera a com a maior área cultivada no mundo, seguida por Espanha (68,9 mil ha), Itália (54,3 mil ha), Grécia (37 mil ha) e Estados Unidos (36,3 mil ha) (FAOSTAT, 2025).

No Brasil, a produção e comercialização de pêssegos é importante atividade agrícola para as regiões Sul e Sudeste, sendo a terceira fruta de clima temperado mais cultivada no país, atrás apenas de uvas e maçãs. Em 2023, a produção nacional alcançou cerca de 200.000 toneladas, em uma área de aproximadamente 15 mil ha, gerando valor em torno de R\$ 646 milhões. Embora o Brasil esteja posicionado como o 14º em área cultivada e 11º em produção mundial, a área de cultivo já foi maior, variando entre 21 e 24,5 mil ha no final dos anos 1990 e anos 2000. Desde 2019, a área cultivada se estabilizou em torno de 16,5 mil ha (IBGE, 2025; FAOSTAT, 2025).

O Sul do Brasil concentra a maior parte da produção nacional, com 87 % da área cultivada e 78,8 % da produção total. O Rio Grande do Sul é o maior produtor do país, contribuindo com 74,6 % da área de cultivo e 65,2 % da produção. Os sete municípios com as maiores áreas de pêssego do país estão localizados nesse estado. A microrregião de Pelotas, no sul do Rio Grande do Sul, é o centro da produção de pêssegos para indústria,

com 5.119 ha dedicados a essa finalidade. A área abriga um importante parque industrial que processa entre 30 e 50 milhões de latas de pêssego em calda por ano, o que representa mais de 90 % da produção nacional desse produto. Para pêssegos tipo mesa, a Serra Gaúcha é a principal região produtora, com aproximadamente 4.300 ha. Os Estados de SP (1.360 ha), SC (1.158 ha), PR (775 ha), MG (639 ha) e ES (35 ha) (IBGE, 2025), também são importantes para a cadeia produtiva nacional.

## **2. Origem e disseminação do pessegueiro**

O pessegueiro pertence à família Rosaceae, subfamília Prunoideae, e ao gênero *Prunus*, constituído por dezenas de espécies (Moore & Ballington, 1990). Dentre as espécies mais importantes desse gênero, além do pessegueiro [*P. persica* (L.) Batsch] estão várias espécies de ameixeira, como *P. salicina*; *P. domestica*, *P. americana*, *P. insititia*; o damasqueiro (*P. armeniaca*); a amendoeira (*P. dulcis*); a cerejeira doce (*P. avium*) e a cerejeira ácida (*P. cerasus*).

Embora Watkins (1995), citado por Raseira et al. (2008), considerasse que os ancestrais do pessegueiro evoluíram no leste da Ásia ocidental, a crença histórica era que a espécie se originava da Pérsia (atual Irã), o que deu origem ao seu nome (*P. persica*) (Hedrick, 1917). No entanto, essa perspectiva foi revisada. Com base na excepcional variabilidade encontrada e seguindo um dos Princípios de Vavilov – de que as plantas mostram sua maior diversidade em seu centro de origem ou muito próximo a ele – a China passou a ser considerada o centro de origem, desde antes do século passado. Cinco espécies de pessegueiro ou estritamente próximas estão distribuídas na China: *P. persica*, *P. davidiana*, *P. ferganensis*, *P. kansuensis* e *P. mira*.

A espécie largamente cultivada para a produção de frutas é *P. persica*, que se distribui da China central ao sul. Esta espécie compreende três variedades botânicas: 1) *vulgaris*: o pêssego comumente conhecido, caracterizado pelo formato arredondado; 2) *nucipersica*: classificação das nectarineiras, que se distinguem por terem a epiderme glabra (sem pelos); e 3) *platicarpa*: inclui os pêssegos chatos (ou achatados), popularmente conhecidos como “donuts”, “bolachinha”, “paraguaios” ou, em sua denominação tradicional, *pentaos* ou *peentoos* (Figura 1).



**Figura 1.** Variedades botânicas de *Prunus persica*: *vulgaris*, *nucipersica* e *platicarpa*.  
Fotos: Paulo Lanzetta.

Devido à vasta extensão do território chinês, considera-se que as cultivares de pessegueiro evoluíram e são classificadas em dois grupos principais. O grupo do Norte é encontrado principalmente no vale do *Yellow River*. Suas características distintivas são a tolerância a déficits hídricos e a temperaturas muito baixas (Rom, 1988). As populações híbridas desenvolvidas nesta região apresentam grande variabilidade em tamanho, coloração, textura e qualidade de fruta. Por outro lado, o grupo do Sul localiza-se principalmente ao sul e oeste do Rio Yangtzé. Este grupo evoluiu em um clima mais úmido e ameno, com menor amplitude nas flutuações de temperatura (Rom, 1988). O mesmo autor considera que um terceiro grupo evoluiu em outra região do mundo, derivado desses dois grupos, dando origem ao grupo Persa ou Europeu. As cultivares desse terceiro grupo seriam, predominantemente, de polpa amarela não fundente e foram a base genética das atuais cultivares tipo conserva.

Não é possível determinar com exatidão há quantos anos o pessegueiro é cultivado, mas Wang (1985) refere-se a um período superior a 4 mil anos. Na literatura chinesa, o pessegueiro era citado desde antes da Era Cristã, aparecendo, por exemplo, nos poemas de Confúcio (551-478 a.C.). Hedrick (1917) apresenta um histórico fascinante sobre as crenças dos antigos, em relação ao pessegueiro e seus poderes miraculosos. O autor também menciona o preconceito de considerar sua flor como um símbolo contrário ao recato e à modéstia, uma ideia bem menos frequente e há muito tempo superada.

Deixando de lado os mitos e os preconceitos, o que permanece concreto é que poucas belezas naturais se equivalem a um pomar de pessegueiro em plena floração (Figura 2).



**Figura 2.** Pomares de pessegueiro, no município de Pelotas, RS. Vista geral de uma área com plantas em plena floração (A); detalhe das plantas floridas (B). Fotos: Adriano Bosembecker.

Da China, o pessegueiro foi inicialmente levado para o Irã (antiga Pérsia). De lá, atingiu a região do Mediterrâneo, chegando o cultivo à Grécia entre 400 e 300 a.C. e na cultura romana por volta do primeiro século d.C. (Hedrick, 1917). A dispersão para o

norte da África e para a Espanha ocorreu, provavelmente, com a chegada dos mouros, mas foram os romanos que mais contribuíram para a disseminação da cultura pelos países mediterrâneos (Scorza & Sherman, 1996).

A espécie foi introduzida na América Continental pelos conquistadores espanhóis e pela Fundação St. Augustine antes de 1600 (Scorza & Sherman, 1996). Paralelamente, acredita-se que os portugueses foram os responsáveis por levar a cultura para a costa leste da América do Sul. Em cada nova área de difusão, as populações locais desempenhavam um papel crucial, selecionando e multiplicando os indivíduos mais adaptados e com os melhores frutos. Foi assim que surgiram as chamadas *landraces* (variedades locais), como o notável exemplo dos pessegueiros “sempre verdes” (*Evergreen*), encontrados no México (Scorza & Sherman, 1996).

Antes do século XIX, os pomares americanos eram formados por *seedlings* (plantas originadas de sementes). Nos Estados Unidos, as frutas eram utilizadas para destilados ou para alimentar suínos. Somente a partir desse período que se iniciou, de fato, a seleção rigorosa seguida da propagação vegetativa. Curiosamente, até então, os pêssegos europeus exibiam grandes diferenças regionais: na Espanha, predominavam os de polpa amarela, enquanto na França e na Inglaterra, os de polpa branca.

Um fato significativo, digno de nota, ocorreu em 1850, quando Charles Downing introduziu a cultivar chinesa denominada Chinese Cling. Essa cultivar originou a ‘Belle de Georgia’ e a ‘Elberta’, ancestrais longínquos de diversas cultivares modernas (Rom, 1988; Raseira et al., 2021).

Graças a essa longa história de dispersão, seleção e aprimoramento genético, o cultivo do pessegueiro encontra-se hoje largamente espalhado pelo mundo. Essa relevância rendeu-lhe o título de “Rainha das Frutas” (Queen of the Fruits), atribuído por Norman Childers (1988), na quarta edição de seu livro *The Peach*.

### **3. O pessegueiro no Brasil**

Há indícios de que o pessegueiro chegou ao Brasil com a expedição de Martim Afonso de Souza, em 1532, na Capitania de São Vicente, hoje Estado de São Paulo (SP). O cultivo de frutíferas de clima temperado ganhou impulso em São Paulo com a instalação da Estação Imperial Agronômica em 1887, que se tornaria o Instituto Agronômico de

Campinas (IAC). Em 1889, Franz Wilhelm Dafert já relatava sobre o comportamento das introduções europeias de várias coleções de frutíferas de clima temperado (Barbosa & Pio, 2013). Segundo esses autores, o destaque para essas frutíferas consolidou-se com os resultados experimentais de pesquisas conduzidas após os anos de 1930, no IAC (Seção de Viticultura e Frutas de Clima Temperado, 1950).

É notável que, no final da década de 1930, fruticultores e viveiristas como Francisco Marengo e João Dierberger impulsionaram a demanda por pêssegos ao introduzir cultivares europeias (Franzon & Raseira, 2014). Entretanto, antes de 1950, as pesquisas concentravam-se na introdução e avaliação de cultivares de diferentes procedências, buscando adaptação, produtividade, resistência a problemas fitossanitários e qualidade das frutas. Esses estudos tornaram possíveis plantios no Estado de São Paulo, utilizando cultivares como ‘Suber’, ‘Jewel’ ou ‘Pingo-de-mel’ e ‘Tos China’ (introduzidos dos Estados Unidos e Itália), e ‘Rei da Conserva’, ‘Sawabe’ e ‘Pérola de Itaquera’ (selecionados por produtores locais) (Ojima et al., 1988). Apesar dessas primeiras entradas de material propagativo, o primeiro registro oficial de entrada de pessegueiro no país ocorreu em 1935, por meio da então Seção de Introdução de Plantas, hoje Quarentenário IAC.

Mas os estudos pioneiros relatados acima foram fundamentais para dar origem, no IAC, em 1947, ao primeiro programa brasileiro de melhoramento genético do pessegueiro (Barbosa & Pio, 2013). Nas décadas de 1950 e 1960, o programa obteve cultivares de grande relevância para a persicultura paulista, incluindo ‘Talismã’, ‘Tutu’, ‘Ouromel’, ‘Natal’, ‘Biuti’, dentre outros (Rigitano, 1964; Ojima et al., 1993, Barbosa & Pio, 2013). Posteriormente, a série Jóia, a série Aurora, a cultivar Douradão e dezenas de outras cultivares foram desenvolvidas.

Contudo, apesar da importância fundamental do trabalho pioneiro em São Paulo, foi na Região Sul, em especial no Rio Grande do Sul, onde o cultivo do pessegueiro alcançaria sua maior prosperidade e dimensão.

### ***a. Pessegueiro na região Sul***

Embora possam ter ocorrido introduções esporádicas em outros estados do Sul, a expansão mais antiga e consolidada da cultura do pessegueiro que se conhece, na região, ocorreu no Rio Grande do Sul (RS).

No Paraná, os primeiros registros de produção comercial de frutas de caroço, em especial o pessegueiro, datam da década de 1960, impulsionados pelo pioneirismo do produtor e viveirista Valdomiro Gayer. Na década seguinte, a Empresa Jart teve uma iniciativa de destaque, embora tenha fechado após poucos anos devido, supostamente, à inadequação das cultivares ao gosto do mercado local e à baixa resistência para o transporte. O poder público foi fundamental para o estabelecimento definitivo da cultura no estado, com a instalação, no final dos anos 60 e início dos anos 70, da primeira coleção de cultivares comerciais em Campo Largo, PR (Citadin, 2014). Graças a iniciativas públicas e privadas, o cultivo se estabeleceu e hoje representa cerca de 5 % da produção nacional, com aproximadamente 800 hectares cultivados.

Em Santa Catarina (SC), referências históricas são ainda mais antigas: um diagnóstico do Ministério da Agricultura de 1913, sobre as condições de agricultura naquele Estado, já destacava a presença de pessegueiros (juntamente com outras fruteiras como a macieira, a ameixeira, o marmeleiro e a figueira), produzindo boas frutas no município de São Joaquim (Schmidt, 1990, citado por Petri et al., 2011). Atualmente, a principal região produtora do estado é o Alto Vale do Rio do Peixe. Outras áreas catarinenses de importância são: o oeste catarinense e a região carbonífera. No meio-oeste Catarinense, o cultivo comercial intensificou-se a partir de 1970, com o projeto de fruticultura de clima temperado (Profit), uma iniciativa governamental que ofereceu assistência técnica e contou com as pesquisas realizadas na Estação Experimental de Videira (Dalbó et al., 2014). Na região carbonífera, o plantio comercial começou na década de 1960, com o agricultor Fernando Della Bruna, que utilizou *seedlings* da cultivar ‘Aldrighi’. Posteriormente, o cultivo se diversificou com a introdução de cultivares, tais como: Delicioso, Cardeal, Premier, Coral, a nectarina Sunred e, mais tarde, as cultivares Sulina, Vila Nova, Princesa, BR 3, BR 1, Marli, e outras em menor escala (Dalbó et al., 2014).

O Rio Grande do Sul (RS) foi, contudo, o estado onde a persicultura mais se desenvolveu, consolidando-se em dois polos produtivos distintos: a metade norte (serra gaúcha e região central) e a metade sul (Pelotas e arredores).

Na metade norte do Estado, que produz predominantemente pêssegos para consumo *in natura*, o cultivo ganhou impulso a partir dos anos 1960. Nessa época,

cultivares de pessegueiro eram trazidas da Estação da Secretaria de Agricultura do RS, de Santana do Livramento, para a Estação Experimental Fitotécnica de Taquari, RS (antiga Estação Experimental de Pomicultura). Esse trabalho era conduzido pelo Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Ênio Chaves Nunes. Em Taquari, o Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Sérgio Sachs iniciou o programa de melhoramento genético no estado. De lá, a cultura se espalhou para Porto Alegre, Guaíba e subiu a serra gaúcha (informações pessoais de Gilmar Marodin; Ênio Todeschini e José Nichetti). Nas proximidades de Porto Alegre, inicialmente – anos 1960 – famílias tradicionais (como Maresco e Marodin) cultivavam ‘Delicioso’, ‘Cardeal’, ‘Princesa’, ‘XV de outubro’ e ‘XV de novembro’. Posteriormente, houve a transição para ‘Premier’, ‘Sulina’, ‘BR 1’, ‘BR 3’, seguidas por ‘Chimarrita’, que dominou a produção de pêssego de mesa por duas décadas. Na serra gaúcha, na década de 1960, famílias de fruticultores (como Sonaglia, Nichetti, Guizzo e outras) adicionavam à produção de uvas, o cultivo do pessegueiro, principalmente da cultivar Chimarrita. Hoje, as cultivares mais recentes, como a PS 10711 (PS tardio) do programa Clones Viveiro, e cultivares da Embrapa, predominam. O município de Pinto Bandeira, na serra gaúcha, é reconhecido como a capital estadual do pêssego *in natura*, concentrando cerca de 1.100 hectares dos 4.264 hectares cultivados em toda a serra gaúcha (IBGE, 2025). Segundo o IBGE (2025), a metade sul do estado, concentra 5.119 hectares de pessegueiro, com Pelotas sendo o maior produtor nacional, com cerca de 3.200 hectares. Acredita-se que as primeiras mudas de pessegueiro chegaram à região por volta de 1880, introduzidas por famílias francesas pioneiras, como os Capdeboscq (Figura 3), os Crochemore e os Jouglard.



**Figura 3.** Senhora Erna, descendente da família Capdeboscq que, em 1880, introduziram, na região de Pelotas, RS, pessegueiros provenientes da França.  
Foto: Acervo da Emater, Escritório de Pelotas, RS.

Relatos históricos atestam a antiguidade do cultivo na região de Pelotas. O renomado naturalista francês Auguste Saint-Hilaire mencionou a presença de pessegueiros e outras frutíferas que observou durante sua visita a Pelotas, em setembro de 1820. Contudo, a implantação de pomares em escala no município é atribuída aos pioneiros Ambrósio Perret e Amadeo Gastal (Grando, 1989; Raseira et al., 2021). A boa adaptação do pêsego ao clima e ao solo das áreas mais altas da zona rural pelotense despertou o interesse do horticultor francês Ambrósio Perret. Em 1887, Perret fundou o Viveiro Perret, que se tornou um centro de introdução de cultivares, trazendo material genético da Europa, Estados Unidos, Japão e Austrália. O próprio Ambrósio Perret, e posteriormente auxiliado por Edmundo Perret, testavam, propagavam e disseminavam ativamente o material introduzido.

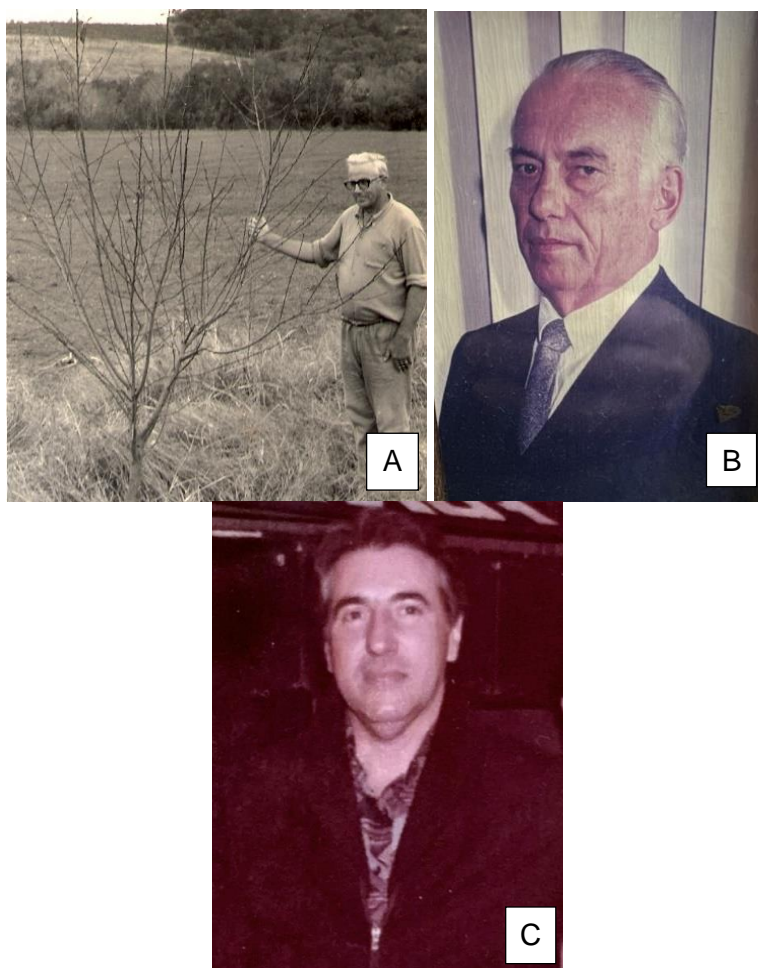
No 1º Congresso Agrícola do Rio Grande do Sul (RS), realizado no Salão Nobre da Biblioteca Pública de Pelotense, em 1908, foram apresentadas e debatidas proposições, que na publicação das Actas (Anais) eram chamadas “Theses”. Entre elas, constava a do Dr. Ildefonso Simões Lopes (Lopes, 1908), que preconizava o cultivo de árvores frutíferas para uso na indústria doméstica e, também, em grande escala, como uma fonte de riqueza particular e pública. O Dr. Lopes defendia a importância da fruticultura na região e recomendava o uso de desidratação de frutas, alertando para a dificuldade na exportação de frutas frescas, o que demandava o estabelecimento de câmaras frigoríficas fixas e móveis. A recomendação sobre desidratação de frutas e hortaliças foi enfatizada pelo Dr. Nunes Vieira. A perspicácia e a visão de futuro, demonstradas por esses Engenheiros Agrônomos, são notáveis.

O avanço científico e tecnológico na região ganhou um marco com a instalação da Estação Experimental de Pelotas, em 1938 — atual Estação Experimental da Cascata, da Embrapa Clima Temperado. A partir de então, foram intensificadas as introduções de germoplasma, as observações de comportamento de cultivares, o estudo da incidência de pragas e doenças, e várias outras experimentações essenciais ao desenvolvimento da cultura.

Outros dois fatos históricos marcaram a história do pessegueiro na região:

1. 1960: fundação, em Pelotas, da Associação Gaúcha dos Produtores de Pêssego, com a finalidade de defender o interesse dos persicultores, discutir problemas, promover treinamentos. Um dos seus principais representantes foi o Sr. Valdemar Fischer (Figura 4A), que destacou-se por ser produtor de pêssegos e respeitado viveirista na região.
2. 1964: fundação, em 16 de outubro, do Sindicato de Doces e Indústrias de Conserva de Pelotas (Sindocopel). Um dos primeiros presidentes do sindicato foi o Sr. Hugo Poetsch (Figura 4B), importante empresário no setor de enlatados na cidade de Pelotas, os quais eram comercializados em todo o país.

Essas duas instituições, juntamente com os órgãos de pesquisa, de extensão rural, universidade local (UFPel) e apoio de fruticultores e empresários que acreditaram no potencial da cultura, foram fundamentais. Uma pessoa a ser mencionada, por exemplo, foi o Sr. José Raphael Gomes Lopes (Figura 4c), que apoiou pesquisas na antiga Estação Experimental de Pelotas (EEP) e foi o responsável pelo primeiro packing house na região, que levava pêssegos *in natura* para os mercados do estado de São Paulo. Essas pessoas e instituições sempre buscaram promover e melhorar o cultivo do pessegueiro na região, mantendo a tradição que está arraigada na cultura local.



**Figura 4.** Senhor Waldemar Fisher (1969), viveirista, produtor e um dos primeiros presidentes da Associação Gaúcha dos Produtores de Pêssego (A); Sr. Hugo Poetsch, durante sua gestão como presidente do Sindocopel (B); Sr. José Raphael Gomes Lopes, incentivador no desenvolvimento do cultivo regional do pessegueiro (C).

Fotos: Claudiomar Fischer (A), Walter Poetsch (B), Daniela Lopes Leite (C).

### ***3.1. A indústria Conserveira***

*“Foi na região de Pelotas que tiveram início as manifestações industriais do Rio Grande do Sul: o preparo do charque (1780) foi a primeira forma de beneficiamento estabelecida no Estado. O porto marítimo de Rio Grande deu oportunidade de exportar esse produto para as demais partes do território do Brasil Colônia” (Grando, 1989).*

A indústria de conservas de frutas e legumes em Pelotas, no RS, foi iniciada pelo imigrante francês Amadeo Gustavo Gastal. Em seu estabelecimento, denominado Bruyères (Grando, 1989), Gastal deu início a uma atividade que viria a ser emblemática para a região.

O marco da produção ocorreu em 1867, quando Gastal viajou à França e de lá importou conhecimentos e maquinário, fabricando as primeiras compotas de pêssegos em 1878. O sucesso e a expansão foram rápidos: em 1880, jornais locais já registravam a existência de mais de 100 mil plantas de pessegueiros, cujos frutos se destinavam, principalmente, à produção de compotas.

Ainda que o Bruyères tenha sido o pioneiro, o ano de 1900 marcou o surgimento daquela que é considerada a “Primeira Indústria Rural” de compotas de pêssego em calda, a Quinta Pastorello, fundada por Domingos Pastorello, na Colônia Santo Antônio, em Pelotas, também conhecida como Colônia Francesa (Bach, 2009; Raseira et al., 2021). Em 1924, a Quinta Pastorello (já sob a gestão de Emilio Ribes) e a Quinta Capdeboscq, de Daniel Capdeboscq (ambos filhos de famílias francesas imigrantes), destacavam-se como as duas maiores fábricas da Colônia Santo Antônio. Paralelamente, na zona urbana de Pelotas, diversas outras fábricas de compotas já operavam, incluindo a tradicional Fábrica Schramm, que se mantém em atividade até os dias atuais (Bach, 2017).

O método de produção, nas primeiras décadas, era predominantemente manual. Inicialmente, as frutas passavam pela classificação por tamanho e estágio de maturação. Em seguida, o descascamento era feito inteiramente à mão. A técnica só começou a evoluir após 1940, com a introdução do processo de pelagem por soda, seguido de lavagem para remover o excesso do produto químico. Contudo, o descaroçamento permaneceu manual por um longo tempo, sendo executado com uma espécie de colherinha de bordos cortantes, a qual era inserida na cavidade peduncular da fruta (Figura 5). Para um aprofundamento sobre a história da produção, Alcir Nei Bach apresenta um documentário abrangente sobre as fábricas de compota da região no período de 1950 a 1990, como parte de sua tese de Doutorado em Memória Social e Patrimônio Cultural (Bach, 2017).



**Figura 5.** Descaroçador, utilizado para retirar os caroços de pêssegos nas indústrias de compotas. Foto: Luis Antônio Suita De Castro.

O processo de enlatamento de pêssegos, desde o pioneirismo em Pelotas até a produção atual, passou por mudanças. Nos primeiros anos, a produção era praticamente artesanal. As metades dos pêssegos descascadas permaneciam em recipientes com água, e as latas eram soldadas manualmente. Uma importante inovação mecânica ocorreu por volta de 1925, quando as latas passaram a ser encravadas por uma máquina acionada por motor à explosão.

A etapa de esterilização era realizada em banho-maria, com as latas dispostas em cestos metálicos e submetidas ao calor por cerca de 30 minutos. O resfriamento subsequente era crucial e, na ausência de tanques de água fria, as latas eram simplesmente depositadas sobre o piso de cimento. O processo final envolvia a rotulagem com papel litografado, selagem e embalagem em papel de embrulho, para posterior encaixotamento (Grando, 1989).

A partir do final do século XX, a indústria de Pelotas incorporou tecnologias que redefiniram sua capacidade e rendimento. Atualmente, a classificação dos pêssegos é feita por classificadoras mecânicas (Figura 6A), que separam os frutos por diâmetro. Contudo, na região de Pelotas (RS), a separação das frutas por maturação, através da análise de

coloração (prática comum em outros países), ainda é executada de forma manual. Em seguida, os pêssegos são submetidos a tanques com água clorada para a higienização e redução da carga microbiana.

O maior salto em eficiência na indústria ocorreu por volta do ano 2000, com a introdução das máquinas descaroçadeiras (Reichert et al., 2025). Essas máquinas (Figura 6b), que realizam o corte da fruta em metades e ocorre a retirada do caroço, geram um rendimento equivalente ao trabalho de, aproximadamente, 40 pessoas, sendo hoje adotadas por todas as indústrias da região.

Para a retirada da casca (epiderme), utilizam-se os peladores. Os modelos mais modernos são do tipo cascata, onde as metades dos pêssegos com a pele (casca) para cima, são conduzidas horizontalmente por esteira e recebem jatos de solução de soda cáustica sob alta temperatura. Um lavador subsequente remove completamente a casca e os resíduos de soda, com jatos de água. As frutas são então depositadas em tanques com água, que pode conter uma pequena concentração de ácido cítrico, para neutralização final.

O enchimento das latas com as metades é, em geral, semiautomático, mas finalizado com calda quente. A esterilização mais avançada é realizada em cozedores de fluxo contínuo, que consistem em uma esteira imersa em água fervente, seguida por um tanque com água fria para o resfriamento rápido das embalagens (Krolow, 2022).



**Figura 6.** Equipamentos utilizados na classificação (A) e descaroçamento (B) de pêssegos.  
Fotos: Lírio Reichert.

As mudanças e a automação resultaram em significativa redução da mão-de-obra necessária e um aumento no rendimento industrial. Hoje, a região (Pelotas e Morro Redondo) conta com apenas 10 indústrias de conserva de pêssegos, mas sua capacidade produtiva é superior àquela que era registrada nas quase 100 indústrias, existentes em décadas passadas.

Apesar da área total de pomares ter diminuído ao longo dos anos, totalizando 4.300 hectares em 2024, a produção de frutas e de latas de compotas manteve-se alta. Isso se deve, principalmente, ao aumento significativo da produtividade média dos pomares que, apesar de ainda poder ser melhorada, aumentou de 4.000 kg ha<sup>-1</sup> em 1974 para 12.300 kg ha<sup>-1</sup> em 2024 (Reichert et al., 2025).

A capacidade industrial da região de Pelotas para conservas de pêssego é de aproximadamente 50 milhões de latas anuais. Contudo, a média da produção efetiva geralmente oscila entre 30 e 40 milhões de latas. Essa variação é determinada, principalmente, pelas condições climáticas de cada ano, que afetam diretamente a safra. É fundamental notar que a matéria-prima para essas fábricas é fornecida, majoritariamente,

por pequenos e médios produtores. Em 2024, esses fornecedores somavam 951 famílias (Reichert et al., 2025), reforçando a forte dependência da indústria em relação à agricultura familiar da região.

#### **4. O melhoramento genético do pessegueiro no Brasil**

Sem dúvida, os grandes responsáveis pelo estabelecimento e pela continuidade da produção de pêssegos no Brasil foram os programas nacionais de melhoramento genético. A pesquisa demonstrou ser crucial para o sucesso da cultura, especialmente em face das condições climáticas regionais.

*“Importante registrar a relevante contribuição da pesquisa nacional, nos programas de melhoramento do pessegueiro e nectarineira. Mesmo com a excelência das cultivares estrangeiras, mais de 70 % dos pêssegos e nectarinas plantados no Brasil são oriundas de programas nacionais, visando na sua essência adaptação plena aos climas regionais” (Barbosa & Pio, 2013).*

Conforme mencionado, o pioneirismo do melhoramento genético brasileiro para o pessegueiro começou em São Paulo, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em 1947. Liderado por Orlando Rigitano, o programa tinha como foco o desenvolvimento de cultivares adaptadas a condições de inverno ameno. Este esforço inicial foi fundamental, sendo impulsionado pela observação de coleções e estudos de viabilidade comercial. Pouco tempo depois, um programa semelhante foi iniciado no Rio Grande do Sul por Sérgio Sachs (Figura 7), na então Estação Fitotécnica de Taquari, ligada à Secretaria da Agricultura do RS.



**Figura 7.** Dr. Sérgio Sachs, pioneiro do programa de melhoramento genético do pessegueiro no Rio Grande do Sul, alguns anos após sua aposentadoria como pesquisador da Embrapa.  
Foto: Ralph Sachs.

Um marco importante para o programa gaúcho ocorreu em 1963, quando, através de um Convênio entre o Ministério da Agricultura e a Secretaria de Agricultura do RS, o Dr. Sachs foi transferido para Pelotas iniciando o que é hoje o Programa de Melhoramento Genético da Embrapa, conduzido pela Embrapa Clima Temperado. No entanto, mesmo antes da transferência oficial, o melhorista já havia iniciado o intercâmbio de germoplasma para a Estação Experimental de Pelotas (EEP) e fazia coleta de pólen na região, principalmente da variedade ‘Aldrighi’.

Nas primeiras décadas, as Estações de Taquari (estadual) e Pelotas (federal) atuaram em estreita colaboração, a ponto de ser difícil traçar uma linha divisória entre as cultivares desenvolvidas por cada uma – operavam como um só programa de melhoramento. O Eng. Agr. Enio Chaves Nunes, e, posteriormente, seu sucessor, o Sr. Luis Antônio de Moraes, deslocavam-se para Pelotas e, junto com a equipe local, elaboravam os planos de hibridações para a próxima florada. Essa colaboração teve continuidade até cerca dos anos 1980, quando a pesquisa com pessegueiro deixou de ser prioritária na Estação de Taquari.

Um dos mais importantes clones de fundação do programa de melhoramento genético de pêssegos tipo conserva foi a cultivar ‘Aldrighi’ (Figura 8). Seleccionada por um agricultor de mesmo sobrenome, na década de 1940, em Pelotas (RS), trata-se de um clone rústico e produtivo (Raseira et al., 2021). Embora sua origem seja controversa, a hipótese mais aceita é que o material (caroços) veio de pêssegos provenientes da Argentina.



**Figura 8.** Frutos da cultivar de pessegueiro Aldrighi.  
Foto: Rodrigo Cezar Franzon.

O Dr. Sérgio Sachs sabiamente aproveitou a variabilidade gerada pela propagação sexuada, para obter plantas geneticamente diferentes a partir de sementes. Ele coletou caroços de ‘Aldrighi’ na Fábrica de Conservas Leal Santos (hoje extinta) e as introduziu na Estação Experimental de Pelotas – EEP. Como a obtenção de mudas era feita por sementes na época, a propagação sexuada permitiu ao Dr. Sachs selecionar mais de 100 variações genéticas de ‘Aldrighi’, na principal região produtora de pêssegos para a indústria.

O Dr. Sachs, que realizou seu mestrado nos Estados Unidos – um fato raro para a época –, construiu uma importante rede de contatos com melhoristas americanos (como Leon Fredrick Hough, Wayne Sherman e Ralph Sharp, entre outros). Em 1957, ele trouxe

milhares de sementes dos EUA para a EEP, incluindo sementes híbridas e resultantes de polinizações abertas, que deram origem a algumas cultivares selecionadas em Taquari e, posteriormente, trazidas para Pelotas. Estes genótipos, somados aos clones de dezenas de cultivares introduzidas, formaram o germoplasma inicial que pavimentou o sucesso do Programa de Melhoramento.

O avanço da persicultura nacional é inseparável dos programas de melhoramento genético, com destaque para as iniciativas ocorridas no estado de São Paulo (SP) e no Rio Grande do Sul (RS). Em São Paulo, o início da persicultura moderna contou com a introdução de cultivares, como ‘Elberta’, ‘Cristal’, ‘Leader’ e ‘Abóbora’. Essas variedades foram importadas de centros de pesquisa nos Estados Unidos, como da Flórida, da Geórgia, da Carolina do Norte, da Califórnia e, em particular, de Nova Jersey (Universidade de Rutgers) (Barbosa & Pio, 2013). A pesquisa paulista avançou com dezenas de hibridações nas décadas de 1960 e 1970, utilizando genótipos vindos da Flórida e da Califórnia. O resultado culminou, na década de 1980, com o lançamento das cultivares da série Aurora, Doçura, Dourado, Jóia e Ouromel. Essa série dominou a persicultura paulista até meados dos anos 1990. Outra cultivar de grande relevância, e que ainda se mantém, é a ‘Douradão’, conhecida por seus frutos de polpa amarela firme e película de cor muito atrativa.

Enquanto o programa paulista se consolidava, o programa gaúcho de melhoramento genético, embora inicialmente focado no desenvolvimento de cultivares adaptadas ao processamento industrial, não descuidou da produção de frutas para consumo fresco. Um resumo das cultivares desenvolvidas pelas Estações de Taquari e Pelotas está contido no Documento 505 da Embrapa – História do Melhoramento Genético do Pessegueiro em Pelotas, RS (Raseira et al., 2021).

Em 1973, com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Estação Experimental de Pelotas (EEP) foi renomeada para Unidade de Pesquisa e Experimentação da Cascata (UEPAE Cascata). Posteriormente, tornou-se o Centro Nacional de Pesquisa em Fruticultura de Clima Temperado (CNPFT). Em 1982, a Sede do Centro de Pesquisa foi transferida para uma nova área e, em 1992, pela fusão com o Centro de Terras Baixas, passou a ser denominada Embrapa Clima Temperado.

Embora as várias denominações que esta unidade de pesquisa recebeu ao longo dos anos, o Programa de Melhoramento Genético do Pessegueiro sempre esteve em posição de destaque, sendo liderado por pesquisadores comprometidos com o desenvolvimento de cultivares mais produtivas, competitivas e relacionadas à realidade dos produtores e demandas do mercado consumidor. Neste sentido, também podem ser citados como responsáveis por este programa, os pesquisadores Dr. Bonifácio Hydeyuki Nakasu, Dra. Ascunia Feliciano e Dra. Maria do Carmo Bassols Raseira. Atualmente, o programa é coordenado por Dr. Rodrigo Cezar Franzon.

## **5. Histórico sobre as cultivares copa lançadas pelo melhoramento genético do pessegueiro da Embrapa**

Independentemente das mudanças ocorridas, denominações de instituições de pesquisa e lideranças do programa, o melhoramento genético do pessegueiro manteve e ampliou seu foco, resultando no lançamento de diversas cultivares de pêssego para consumo *in natura*:

Anos 1970: ‘Chiripá’ (1975); ‘BR 1’ e ‘BR 3’ (1979).

Anos 1980: ‘Della Nona’ (1982); ‘Planalto’ (1982), ‘Guaiaca’ (1983); ‘Pilcha’ (1985); ‘Sentinela’ (1985); ‘Chinoca’ (1987).

Anos 1990 e 2000: ‘Pampeano’ (1993); ‘Chula’ e ‘Chirua’ (1999); ‘Barbosa’, ‘Chimarrita’ (Figura 9) e ‘Charme’ (2000).

Após 2002, o programa ganhou novo fôlego com a participação da equipe da Embrapa Produtos e Mercado (Dr. Ciro Scaranari e Dr. Nelson Pires Feldberg) e de fruticultores tradicionais, como Yassuo Kagi, Norival Galo, Anuncio Marim e Waldir Parise, entre outros. Essa colaboração permitiu a intensificação dos testes com novas seleções e a ampliação da rede de colaboradores. Graças a esses esforços, especialmente no melhoramento da firmeza dos pêssegos de polpa branca, o programa lançou uma nova série de cultivares: BRS Rubimel, BRS Kampai (Figura 10), BRS Regalo, BRS Fascínio, BRS Serenata, BRS RubraMoore e BRS Sarau (Figura 11). Um marco importante foi também o lançamento da primeira cultivar nacional de pêssego platicarpa (chato), a BRS Mandinho (Figura 12).



**Figura 9.** Frutos da cultivar de pessegueiro Chimarrita.  
Foto: Rodrigo C. Franzon.



**Figura 10.** Frutos da cultivar de pessegueiro BRS Kampai.  
Foto: Paulo Lanzetta.



**Figura 11.** Frutos da cultivar de pessegueiro BRS Sarau.  
Foto: Paulo Lanzetta.



**Figura 12.** Frutos da cultivar de pessegueiro de formato chato BRS Mandinho.  
Foto: Paulo Lanzetta.

O sucesso dos programas de melhoramento genético se reflete não apenas no abastecimento interno, mas também na possibilidade de expansão para mercados internacionais. As cultivares de mesa BRS Kampai e BRS Fascínio demonstraram potencial de exportação em testes realizados em 2019/2020, com frutas enviadas experimentalmente para a França e para o Canadá. A excelente aceitação nesses mercados permitiu ampliar os volumes e, atualmente, entre 60 a 70 toneladas de pêssegos dessas cultivares são exportadas anualmente, e há demanda para volumes maiores, limitada apenas pela atual capacidade de produção.

Retornando aos pêssegos destinados à indústria, o primeiro marco importante da história em Pelotas foi a cultivar ‘Aldrighi’, que dominava o mercado local de pêssegos para conserva até o início dos anos 1960. O grande problema da época, no entanto, era a janela de colheita extremamente curta: a safra se concentrava em apenas 15 a 20 dias. Essa concentração gerava problemas logísticos significativos, tanto para os fruticultores (devido ao trabalho intenso na colheita) quanto para as indústrias, que precisavam processar todo o volume em um período exíguo.

Deste modo, o programa de melhoramento genético em Pelotas, além de buscar adaptação, produtividade e qualidade, passou a ter um objetivo central: estender o período de colheita da matéria-prima. A busca por precocidade levou ao lançamento de algumas cultivares um pouco mais precoces do que ‘Aldrighi’, tais como ‘Topázio’, ‘Madrugador’ e ‘Matutino’. Contudo, elas tiveram uma “vida efêmera”, com uma antecipação de colheita de, no máximo, uma semana.

A verdadeira mudança ocorreu em 1971, com o lançamento da cultivar ‘Diamante’. Originada da segunda geração de um cruzamento entre a cultivar Convênio (lançada no fim da década de 1960) e um *seedling* de cruzamento entre a cultivar de mesa Cardeal com pólen de ‘Aldrighi’, a ‘Diamante’ teve um impacto que ultrapassou as fronteiras do Rio Grande do Sul. Ela foi extensivamente cultivada no México e se tornou uma fonte genética importante para hibridações de pessegueiros de polpa não fundente na Flórida (EUA).

Além de seu uso industrial, a ‘Diamante’ foi bem aceita no mercado de frutas frescas devido ao seu aroma, sabor e conservação pós-colheita superiores aos pêssegos de polpa branca da época. Esse sucesso deu origem a uma nova estratégia de melhoramento

em Pelotas: desenvolver pêssegos que servissem à dupla finalidade (indústria e consumo *in natura*), a exemplo do que já havia sido feito pelo IAC com a cultivar ‘Biuti’.

Essa abordagem conferiu aos fruticultores maior flexibilidade e segurança, permitindo-lhes escolher o mercado — fresco ou industrial — mais interessante para comercializar a fruta a cada safra. Mais tarde, em 1989, o programa de melhoramento genético em Pelotas lançou a cultivar ‘Eldorado’ (Figura 13), que se firmou como outro marco importante nesta história de desenvolvimento de pêssegos de dupla finalidade.

O desenvolvimento de cultivares para a indústria continuou a ser uma prioridade do programa de melhoramento genético em Pelotas. A estratégia de extensão do período de colheita para otimizar o uso da capacidade industrial foi inicialmente alcançada com o lançamento de variedades mais tardias que a ‘Aldrighi’, ainda na década de 1970: ‘Farrapos’ (1970) e ‘Magno’ (1977) estenderam a colheita para mais tarde, complementando a safra. Posteriormente, este grupo de cultivares foi reforçado pelas cultivares tardias ‘Turquesa’ (1980), ‘BR 6’ e ‘Safira’ (1981).

Entretanto, as décadas de 1980 e 1990 foram as mais bem-sucedidas em termos de cultivares lançadas pelo programa de melhoramento genético (Raseira et al., 2021). Nesse período, a ênfase mudou levemente: embora a extensão da safra continuasse importante, o foco principal passou a ser a qualidade dos frutos e a produtividade. Deste período destacam-se diversas cultivares importantes para o pêssego industrial, muitas das quais ainda são amplamente cultivadas:

- década de 1980: ‘Precocinho’ (1981); ‘BR 2’ (1981); ‘Esmeralda’ e ‘Jade’ (1987); ‘Ônix’, ‘Ágata’ e ‘Bolinha’ (1986); ‘Vanguarda’ e ‘Eldorado’ (1989).

- década de 1990: ‘Ametista’ (1990); ‘Riograndense’ (1991); ‘Maciel’ (1992) (Figura 14); ‘Granito’ (1993); ‘Granada’ (1995); ‘Jubileu’ e ‘Leonense’ (1998); e ‘Turmalina’ (1999).



**Figura 13.** Frutos da cultivar de pessegueiro Eldorado.  
Foto: Rodrigo C. Franzon.



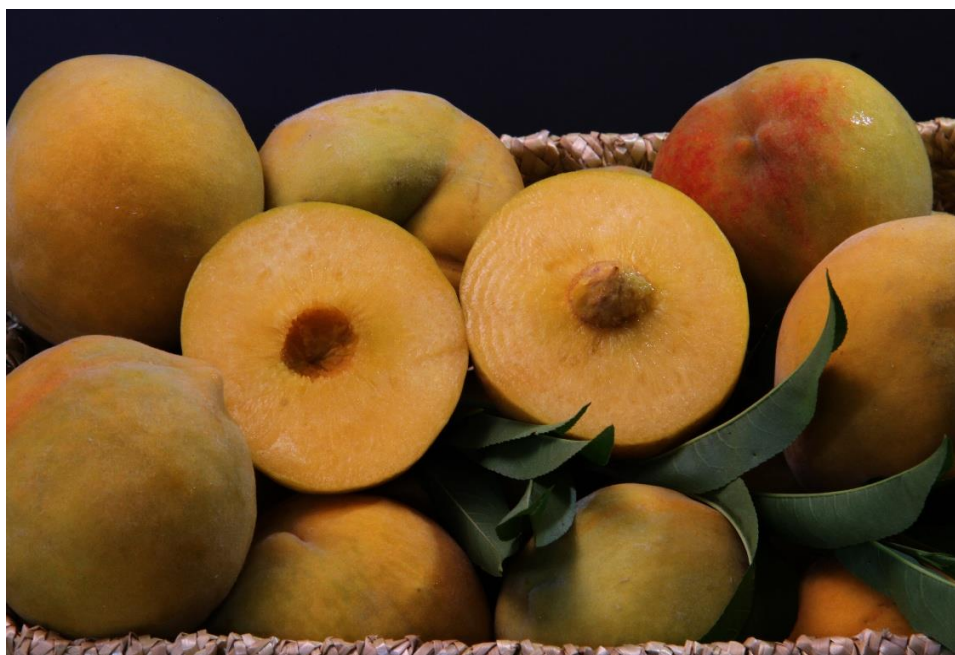
**Figura 14.** Frutos da cultivar de pessegueiro Maciel.  
Foto: Paulo Lanzetta.

Atualmente, as cultivares Esmeralda, Granada, Maciel e Jade ainda figuram entre as que ocupam a maior área de produção de pêssegos para indústria. A partir do ano 2000, o programa continuou a oferecer resultados, disponibilizando uma nova série de cultivares. Dentre elas, incluem-se: ‘Pepita’, ‘Santa Áurea’, ‘Atenas’, ‘Olímpia’, ‘Sensação’, ‘BRS Libra’, ‘BRS Bonão’, ‘BRS Âmbar’, ‘BRS Citrino’ (Figura 15) e ‘BRS Jaspe’ (Figura 16).

A estratégia de desenvolver cultivares, que atendam tanto ao mercado industrial quanto ao de frutas frescas (dupla finalidade), iniciada com a ‘Eldorado’ (a primeira deste tipo lançada pelo programa de Pelotas), foi firmemente adotada. Depois dessa, foram lançadas ‘Riograndense’, ‘Leonense’, ‘Maciel’, ‘Granada’, ‘BRS Âmbar’ e ‘Sensação’.



**Figura 15.** Frutos da cultivar de pessegueiro BRS Citrino.  
Foto: Paulo Lanzetta.



**Figura 16.** Frutos da cultivar de pessegueiro BRS Jaspe.  
Foto: Paulo Lanzetta.

A contínua evolução do programa de melhoramento genético do pessegueiro da Embrapa não se limitou ao lançamento de novas cultivares, estendendo-se também à proteção legal dessas inovações. A partir de 2009, a Embrapa aderiu à proteção de cultivares, um passo crucial para garantir os direitos de propriedade intelectual sobre o material genético desenvolvido. As primeiras cultivares a receberem essa proteção foram a ‘BRS Kampai’ (destinada ao mercado de mesa) e a ‘BRS Libra’ (do tipo indústria), ambas lançadas no mesmo ano (Raseira et al., 2015).

Resumidamente, ao longo das décadas de trabalho, o programa de melhoramento genético de pessegueiro da Embrapa obteve avanços significativos, como: a extensão do período de colheita – a safra foi ampliada para mais de três meses; o pico de colheita foi antecipado, graças ao desenvolvimento de cultivares muito precoces e da redução do período de desenvolvimento dos frutos; houve ganhos importantes na massa média dos frutos e na sua qualidade geral; mas, o aspecto que registrou o maior avanço foi o aumento da produtividade (Nardino et al., 2022).

Atualmente, o fruticultor de pêssegos conta com uma ampla gama de cultivares disponíveis, cujos frutos atendem tanto ao consumo fresco quanto ao processamento em forma de conserva (Scaranari et al., 2009; Raseira et al., 2022).

Além disso, a oferta de cultivares inclui algumas opções de cultivares de nectarineira, incluindo as cultivares recentes da Embrapa – BRS Nina, BRS Cathy, BRS Dani (Figura 17), BRS Janita, BRS Carina (Figura 18) –, além das antigas ‘Mara’, ‘Dulce’, ‘Linda’ e ‘Anita’; cultivares de outros programas nacionais, como a série Kindim e Chantili (da Clone Viveiros), e as cultivares do IAC (Januária, Rosalina, Centenária e Aurojima); e cultivares estrangeiras, como as americanas Sunripe, Sunblaze, Sunraycer, Smooth Delight 1 e Smooth Delight 2.

Essa ampla disponibilidade de cultivares permite ao fruticultor otimizar seu manejo, escolher as cultivares mais adaptadas às suas condições e, conseqüentemente, atender às múltiplas demandas do mercado.



**Figura 17.** Frutos da cultivar de nectarineira BRS Dani.  
Foto: Paulo Lanzetta.



**Figura 18.** Frutos da cultivar de nectarineira BRS Carina.  
Foto: Paulo Lanzetta.

## **6. Histórico sobre porta-enxertos para pessegueiro no Brasil**

Para se falar do histórico do uso de porta-enxertos em espécies frutíferas de caroço no Brasil, é preciso mencionar o início da prática da enxertia para se produzir as mudas, ou seja, a prática da enxertia requer uma planta da mesma espécie ou gênero para receber ou “portar” o enxerto, como o próprio nome sugere. Portanto, a partir de um determinado momento de nossa história em que se passou a ter justificativas para clonar um genótipo para formar a copa por meio da enxertia, tais como a disponibilidade de cultivares e a necessidade de formar pomares com plantas idênticas entre si, houve também a necessidade de se dispor de plantas compatíveis entre si para essa tarefa. Surge então o conceito de “porta-enxerto” no seu sentido mais simples, ou seja, uma planta jovem e morfológicamente compatível que tenha por função apenas receber uma gema de interesse, que permita sua cicatrização, a união e a brotação de tal forma que, com seu crescimento satisfatório, a planta composta por dois genótipos possa produzir e viver por vários anos.

Não se tem informações precisas sobre quando e onde se deu o início da produção de mudas enxertadas de pessegueiro, nectarineira ou ameixeira no Brasil. Entretanto,

provavelmente o imigrante francês Ambrósio Perret, em seu viveiro “Quinta Bom Retiro”, fundado em 1887 e localizado na Colônia Retiro em Pelotas-RS, tenha sido o pioneiro no país a produzir mudas enxertadas dessas frutíferas, em escala comercial. Em seu catálogo comemorativo dos 50 anos do estabelecimento (Ambrosio Perret & Cia. Ltda., 1937), é citado que o jornalista Henrique Mello, redator do jornal “A Pátria”, do Rio de Janeiro, refere-se à Quinta Bom Retiro como “...o primeiro estabelecimento sul-americano no gênero”, elogiando a grandiosidade do estabelecimento e a diversidade de espécies e de cultivares, com existência de 60 mil pés de pessegueiro no viveiro.

No âmbito da pesquisa pública na região Sul, a produção de mudas enxertadas de pessegueiro, ameixeira, cerejeira, damasqueiro e amendoeira já faziam parte da programação de pesquisas da Estação Experimental de Pelotas, na década de 1940. Na época, a Estação mantinha grandes viveiros e fazia a comercialização de mudas enxertadas dessas espécies aos agricultores, além do fornecimento de borbulhas das seleções de destaque, de forma gratuita (Carvalho, 1988; Raseira et al., 2021). Na década de 1940, surgia a cultivar Aldrighi, um pêsego de polpa amarela que passou a ser bastante cultivado na microrregião de Pelotas, principalmente pela sua boa produtividade e adaptação ao clima. Como seus frutos eram destinados à industrialização, havia abundante disponibilidade de seus caroços nas indústrias de conservas, pois estes eram retirados manualmente das frutas para elaboração das metades em calda. Pela abundante disponibilidade, os caroços de ‘Aldrighi’ eram então utilizados pelos agricultores para germinar e formar os porta-enxertos, nos viveiros (Mayer et al., 2014).

Com o surgimento dos programas brasileiros de melhoramento genético de pessegueiro, a partir da década de 1950, e da disponibilidade de cultivares-copa genuinamente brasileiras, a prática da enxertia passou a ser bastante difundida, especialmente entre os viveiristas e seus funcionários especialistas (os enxertadores). Logo, ficou bastante evidente as inúmeras vantagens de se formar pomares comerciais com copas homogêneas e com características genéticas idênticas à planta original selecionada pela pesquisa. Em 1966, a Estação Experimental de Pelotas lança a cultivar-copa Capdeboscq, que é do tipo indústria e passa a ter grande importância econômica na microrregião de Pelotas. Com abundante quantidade de caroços da nova cultivar nas indústrias, e por apresentar boa germinação das sementes, o ‘Capdeboscq’ passou a ser o

material utilizado para a produção de porta-enxertos. Assim, o ‘Capdeboscq’ é mais um exemplo de uma cultivar selecionada para a finalidade de processamento das suas frutas (especialmente metades em calda) mas que, por conveniência e facilidade de obtenção, suas sementes também passam a ser utilizadas para a produção de porta-enxertos, nos viveiros. Surge, a partir daí, um conceito popular e errôneo de que o ‘Capdeboscq’ é uma cultivar de “porta-enxerto” (Mayer et al., 2014).

A partir do final da década de 1960, diversas cultivares de pessegueiro tipo indústria são disponibilizadas pelo programa de melhoramento genético da antiga Estação Experimental de Pelotas. Com a criação da Embrapa, em 1973, a Estação Experimental de Pelotas e o programa de melhoramento genético do pessegueiro foram incorporados à Embrapa, o que impulsionou as pesquisas e o lançamento de diversas cultivares-copa, tanto dos tipos indústria como também para o consumo *in natura* (Raseira et al., 2021).

Com a oferta de novas cultivares-copa, especialmente as do tipo indústria, a variabilidade genética dos caroços, disponíveis nos pátios das indústrias conserveiras, passou a ser cada vez maior. Esse material, resíduo do processamento do pêssego para o preparo de metades em calda, passa então a ser cada vez mais utilizado pelos viveiristas, que utilizavam os caroços para germinação e produção de porta-enxertos nos viveiros. Como as pesquisas nas áreas de porta-enxertos, propagação e produção de mudas não acompanharam os significativos avanços do melhoramento genético de cultivares-copa, houve um descontrole total sobre a identidade genética dos porta-enxertos utilizados na produção de mudas. Além do uso de misturas de caroços de diversas cultivares tipo indústria, também é preciso considerar, como fontes de variabilidade genética, a segregação genética decorrente da propagação sexuada de cultivares (que normalmente são F1 ou F2) e as taxas de polinização cruzada, que podem chegar até 33 %, em pessegueiro (Beckman, 1998).

Devido à tradição de mais de cem anos de cultivo do pessegueiro na microrregião de Pelotas, da existência do principal parque industrial processador de pêssegos do Brasil, do programa de melhoramento genético de *Prunus* existente em Pelotas desde a década de 1960 e das pesquisas pioneiras com frutíferas de caroço desde a fundação da Estação Experimental de Pelotas em 1938, houveram condições favoráveis e forte demanda para que o setor de viveiros também se estabelecesse nessa parte do estado do Rio Grande do

Sul. Embora não existam dados oficiais, os municípios de Pelotas, Canguçu e Morro Redondo formam o principal polo produtor de mudas de pessegueiro, nectarineira e ameixeira do Brasil (Mayer & Antunes, 2010). Por outro lado, a pesquisa brasileira deu poucas respostas sobre a efetividade e as vantagens do uso de diferentes genótipos como porta-enxertos de *Prunus* spp. até os anos 2000, especialmente para as condições edafoclimáticas do sul do Brasil.

#### **b. *Evolução das pesquisas sobre porta-enxertos de pessegueiro no Brasil***

A principal contribuição para porta-enxertos de pessegueiro no Brasil foi a introdução da cultivar Okinawa [*Prunus persica* (L.) Batsch] em 1969, realizada através de intercâmbio de material genético entre o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e a Universidade da Flórida (Rigitano et al., 1975). Especialmente pelas características de bom vigor que confere à copa (sejam cultivares de pessegueiro, ameixeira ou nectarineira) e de resistência aos nematoides-de-galhas (*Meloidogyne* spp.) (Mayer et al., 2003; Mayer et al., 2005b.), o ‘Okinawa’ foi e ainda continua sendo o porta-enxerto mais utilizado comercialmente nos viveiros do Sudeste do Brasil, assim como em alguns viveiros na região Sul (Mayer & Antunes, 2010; Mayer et al., 2017).

Na busca por novos porta-enxertos para as plantas frutíferas de caroço, foram iniciadas, na década de 1980, pesquisas no Instituto Agronômico de Campinas, envolvendo o uso do umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) propagado por sementes, como porta-enxerto para pessegueiro e nectarineira. Os resultados iniciais revelaram boas perspectivas de uso, uma vez que a espécie apresentou boa rusticidade, sanidade, adaptação ao inverno ameno, compatibilidade de enxertia, diminuição no vigor das plantas, indução à produção de frutos com maior massa, maior teor de sólidos solúveis e coloração mais vermelha do epicarpo, quando comparados aos frutos produzidos pelas mesmas copas enxertadas sobre o ‘Okinawa’ (Campo Dall’Orto et al., 1992; Campo Dall’Orto et al., 1994). Entretanto, as pesquisas no IAC revelaram grande variabilidade genética entre as plantas quanto ao vigor, em decorrência da propagação do umezeiro por sementes, o que desestimulou a continuidade do projeto.

Assim, foi iniciado, a partir de 1998, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP, *Campus* de Jaboticabal-SP), um amplo projeto de pesquisa, que teve como objetivo geral viabilizar tecnicamente o uso de porta-enxertos clonais de

umezeiro para a cultura do pessegueiro. A partir de plantas mantidas na Estação Experimental de Jundiaí - IAC, foram coletadas estacas herbáceas e realizado o primeiro experimento, selecionando-se os Clones 02; 05; 10 e 15, no qual foi concluído sobre a viabilidade da propagação destes por estacas herbáceas (Nachtigal et al., 1999). Os estudos prosseguiram, com a realização de experimentos nas diferentes estações do ano, revelando melhores porcentagens de enraizamento com o Clone 10, sobretudo na primavera (Mayer, 2001). Foram também realizados experimentos com a enxertia do pessegueiro cv. Aurora-1 sobre esses clones de umezeiro propagados por estacas herbáceas (Mayer et al., 2005a.; Pereira & Mayer, 2005), avaliações de crescimento e produção no campo (Mayer et al., 2006), vigor de plantas (Mayer & Pereira, 2006), distribuição do sistema radicular (Mayer et al., 2007), bem como a caracterização morfológica e molecular por marcadores RAPD e fAFLP (Wickert et al., 2007; Mayer et al., 2008a; Mayer et al., 2008b).

O projeto da FCAV/UNESP, *Campus* de Jaboticabal-SP culminou com o lançamento da cultivar Rigitano (Clone 10) (Pereira et al., 2007), em homenagem ao Dr. Orlando Rigitano, primeiro melhorista de pessegueiro do Brasil. Como principais características, além da viabilidade técnica da propagação por estacas herbáceas, menor vigor e compatibilidade com o pessegueiro cv. Aurora-1, constatou-se que o porta-enxerto cv. Rigitano antecipa (entre 5 e 7 dias) a maturação dos frutos da cultivar-copa Aurora-1, aumenta a coloração vermelha na película e incrementa entre 12 % e 18 % a massa dos frutos, comparativamente às plantas enxertadas em ‘Okinawa’ (Mathias et al., 2008). A cultivar Rigitano também é resistente a *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (Mayer et al., 2003; Mayer et al., 2005b), entretanto é suscetível ao nematóide anelado *Mesocriconema xenoplax* (Mayer et al., 2005c).

Em 2008, por meio de acordo de cooperação técnica, a cultivar Rigitano e o Clone 15 de umezeiro foram introduzidos na “Coleção Porta-enxerto de *Prunus*” da Embrapa Clima Temperado, tendo-se constatado que as plantas são bastante resistentes às geadas. Em um amplo projeto liderado pela Embrapa Clima Temperado, esses clones de umezeiro foram testados com diversas cultivares-copa em unidades de observação, nas regiões Sul e Sudeste.

Quando enxertados com o pessegueiro ‘BRS-Kampai’, as plantas produzem bem nos primeiros anos, mas apresentam sintomas de incompatibilidade de enxertia tardia, após cinco ou seis anos de idade (Mayer et al., 2021; Nicolao et al., 2025). Com cultivares-copa tipo indústria, os sintomas de incompatibilidade são mais evidentes e precoces, com redução significativa do crescimento das plantas, espessamento do tronco na região da enxertia, formação de pernadas mais finas e fracas e má brotação no terço basal da planta. Além disso, tanto o ‘Rigitano’ como o Clone 15 reduziram o peso médio das frutas, a produção acumulada por planta e por hectare nas cultivares ‘Jade’ e ‘Maciel’ (Mayer et al., 2022; Mayer et al., 2024). Assim, embora apresente algumas características importantes, especialmente na microrregião de Jaboticabal-SP, os porta-enxertos ‘Rigitano’ e o Clone 15 ainda precisam ser melhor avaliados, nas condições do Sul do Brasil.

Na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPel) foi iniciado, a partir de 1997, um trabalho de introdução de porta-enxertos para frutíferas de caroço. Com germoplasma inicial de cerca de 30 acessos, as avaliações envolveram multiplicação convencional e *in vitro*, caracterização molecular dos acessos, reação a fitonematóides e ao encharcamento de solo (Fachinello & Loreti, 2000; Bianchi et al., 2004). Na continuidade, os estudos realizados pela UFPel envolveram hibridações controladas, com o objetivo de obter porta-enxertos resistentes a fitonematoides e adaptados às condições edafoclimáticas do sul do Brasil (Bianchi et al., 2003), avaliações de cultivares-copa de pessegueiros enxertados em porta-enxertos propagados por sementes (de Rossi et al., 2004; Rocha et al., 2007), cultura de tecidos *in vitro* (Silveira et al., 2001; Radmann et al., 2011) e reações de porta-enxertos ao déficit hídrico e ao encharcamento de solo (Martinazzo et al., 2011; Klumb et al., 2017).

A empresa Clone Viveiros e Fruticultura Ltda., no estado do Paraná, possui um programa de melhoramento genético privado de frutíferas Rosáceas. Desenvolveu e lançou duas cultivares de porta-enxerto: o ‘A9<sup>®</sup>’ [*Prunus persica* (L.) Batsch] e o ‘Nanomais’ (*Prunus* spp.). O ‘A9<sup>®</sup>’ é um porta-enxerto anão para ameixeira, pessegueiro e nectarineira. Para pessegueiros e nectarineiras, o ‘A9<sup>®</sup>’ reduz de 25 % a 35 % do volume da copa, em relação às plantas enxertadas no ‘Okinawa’ (Clone, 2025). Já o ‘Nanomais’ é um porta-enxerto semi-anão para pessegueiro que reduz de 40 % a 65 % do tamanho da

copa, comparativamente aos porta-enxertos até hoje utilizados no Brasil. Permite plantios em alta densidade e pode dispensar poda de verão, em condições normais (Clone, 2025).

Na Embrapa, embora a prioridade do melhoramento genético de *Prunus* spp. sempre tenha sido o desenvolvimento de cultivares-copa, constata-se que houveram diversos projetos que envolveram porta-enxertos. No Sistema Embrapa de Gestão de projetos (SEG), por meio de pesquisa no software Quaesta em setembro de 2025, foram identificados 14 projetos envolvendo planos de ação, atividades, objetivos gerais ou específicos sobre porta-enxerto e produção de mudas de qualidade em *Prunus* spp. Esses projetos foram desenvolvidos a partir do ano de 1982, iniciados no então Centro Nacional de Pesquisas de Fruteiras de Clima Temperado (CNPFT), que atualmente é a Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS.

Entretanto, em consulta na Base de Dados da Pesquisa Agropecuária (BDPA, 2025), que hospeda as publicações científicas, constatou-se que poucas foram as publicações (menos de 10) existentes até o ano de 2000, sobre “porta-enxerto”, “rootstock” e “Prunus”. Por outro lado, entre os anos de 2000 até 2025 foram encontradas, pelo menos, 150 publicações técnicas e científicas com esses assuntos.

No final de 2007, a Embrapa Clima Temperado iniciou um trabalho de seleção clonal *in situ* de porta-enxertos potencialmente tolerantes à morte-precoce do pessegueiro, síndrome que provoca significativas mortes de plantas, desde o final da década de 1970, principalmente na metade sul do Rio Grande do Sul. Por meio da metodologia desenvolvida, em que se realiza a decape da copa das plantas abaixo do ponto de enxertia para promover a brotação do porta-enxerto, são preparadas estacas herbáceas com essas brotações para o enraizamento em câmara de nebulização intermitente (Mayer et al., 2009). Em sete ciclos de seleção, foram clonadas 148 seleções de porta-enxerto, provenientes de 45 diferentes propriedades rurais localizadas em 8 municípios gaúchos, e que foram estabelecidas em coleção de trabalho (Mayer & Ueno, 2015). Além dessa estratégia, também foram inseridos na coleção outros genótipos de *Prunus* spp. de interesse para estudar como porta-enxerto, tais como cultivares de porta-enxerto de domínio público, outras espécies do gênero, clones de plantas antigas existentes em diferentes locais, assim como doações de viveiros e de instituições parceiras. Assim, a

partir de 2017, havia um germoplasma com 220 acessos na “Coleção Porta-enxerto de Prunus”, mantida em condição de campo na Embrapa Clima Temperado.

A partir de plantas da “Coleção Porta-enxerto de Prunus” da Embrapa, foram eleitos 26 acessos para propagação clonal por estacas herbáceas, visando a produção de mudas e constituição de unidades de observação. Para tanto, as plantas matrizes foram submetidas à poda drástica no inverno de 2012, para obtenção de ramos adequados ao preparo de estacas herbáceas (Mayer et al., 2013). Após enraizamento, aclimatação e crescimento, esses porta-enxertos foram enxertados com 11 cultivares-copa de pessegueiro, ameixeira e nectarineira, totalizando aproximadamente 240 combinações copa/porta-enxerto com, pelo menos, quatro mudas de cada combinação (Mayer et al., 2015). Essas mudas constituíram 20 unidades de observação a partir de 2014, nos estados da região Sul e do Sudeste do Brasil, formando uma rede interinstitucional e multidisciplinar que envolveu diversos profissionais e instituições (projeto SEG: 02.13.06.001.00.00). Diversas avaliações foram realizadas ao longo dos anos subsequentes, o que gerou uma quantidade significativa de informações sobre o comportamento, adaptação e efeitos dos porta-enxertos em diferentes cultivares-copa, além de oportunizar a formação técnica e acadêmica de novos graduados, mestres e doutores (Roth, 2017; Neves et al., 2017; Gonçalves et al., 2019; Oldoni et al., 2019; Jimenez et al., 2020; Santana et al., 2020; Bender et al., 2021; Sobierajski et al., 2021; Nicolao, 2022; Camargo et al., 2024; Mayer et al., 2024). Além das parcerias com instituições de ensino, pesquisa, extensão rural e empresas privadas, deve-se destacar também as parcerias com viveiristas e fruticultores, as quais viabilizam algumas atividades de introdução de germoplasma e de avaliação das combinações copa/porta-enxerto, em diferentes condições físicas, químicas e biológicas de solo.

Com o conjunto das informações obtidas nas diferentes condições edafoclimáticas de microrregiões persícolas do Sul e do Sudeste do Brasil, além das já conhecidas características das cultivares de porta-enxerto ‘Okinawa’ (Mayer et al., 2014) e ‘Flordaguard’ (Sherman et al., 1991), foi possível recomendar ambas as cultivares de porta-enxerto para a produção de mudas de pessegueiro, nectarineira ou ameixeira, especialmente para cultivo em áreas com histórico da síndrome da morte-precoce (Mayer et al., 2022; Mayer et al., 2024).

Com o registro de ambas as cultivares no Registro Nacional de Cultivares (RNC), do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a Embrapa é mantenedora dessas cultivares e, em janeiro de 2025, foi possível ofertar os primeiros lotes de material propagativo (ramos borbulheiros) por meio de oferta pública aos viveiristas interessados, para que estes formem suas próprias plantas matrizes de porta-enxerto. Sem dúvida alguma, esse é um importante passo para a melhoria da qualidade das mudas dessas frutíferas, especialmente no Sul do Brasil, pois são apresentadas duas alternativas de porta-enxerto que foram devidamente testadas, com diversas cultivares-copa e em diferentes locais. Dessa forma, o uso da mistura varietal de caroços de cultivares-copa de pêssegos, prática antiga e tradicional de obtenção de sementes junto às indústrias de conservas que a pesquisa não recomenda (Mayer et al., 2014; Mayer et al., 2017; Mayer et al., 2019; Mayer et al., 2024), não será mais necessária para se obter porta-enxertos e produzir as mudas enxertadas.

Na Embrapa, as pesquisas com porta-enxertos de *Prunus* spp. continuam e tem por objetivo o desenvolvimento de cultivares que tenham, pelo menos, duas ou mais dessas características: tolerância à morte-precoce do pessegueiro ; seja de fácil propagação por estacas herbáceas; que confira baixo vigor às plantas; que seja compatível com as principais cultivares-copa de pessegueiro, ameixeira japonesa e nectarineira cultivadas no Brasil; que induza elevada produção e qualidade aos frutos. Ao longo dos últimos 19 anos, obteve-se avanços bastante significativos e espera-se que seja possível o lançamento de uma cultivar de porta-enxerto com essas características, nos próximos quatro anos.

## **7. Considerações finais**

A história da persicultura no Brasil é marcada por um ciclo contínuo de inovação e adaptação. Atualmente, no cenário do melhoramento genético, além dos programas da Embrapa e do IAC, outros programas de iniciativas públicas e privadas estão em andamento, como o programa da EPAGRI (Estações de Urussanga e de Videira, em SC), da Universidade Federal de Viçosa (UFV – MG) e o único programa privado de melhoramento de fruteiras no Brasil, o da Clone Viveiros, na Lapa (PR).

Vale destacar o grande avanço no conhecimento sobre a caracterização genotípica do pessegueiro. Esse conhecimento tem permitido o uso de marcadores moleculares nos

programas mais avançados globalmente, o que acelera e torna mais precisa a seleção de novas variedades. Tais marcadores permitem a identificação de características importantes, como: presença de vermelho na epiderme, acidez da polpa, tipo de textura (fundente vs. não fundente), resistência à bacteriose, diferenciação entre pêsego e nectarina, cor da polpa (amarela ou branca) e época de maturação, além da necessidade de frio. Na programação de pesquisa da Embrapa Clima Temperado, está em andamento a validação de marcadores para identificar germoplasma com genes relacionados a resistência à bacteriose. Além disso, há um esforço internacional para identificar marcadores de macho-esterilidade em pessegueiro (Eduardo et al., 2020).

Apesar de todos os avanços tecnológicos, há ainda muito trabalho a ser feito. As mudanças climáticas impõem novos e severos desafios à cultura, exigindo cultivares ainda mais resilientes. Soma-se a isso a crescente demanda dos consumidores por frutos mais atrativos, deliciosos e produzidos organicamente.

No entanto, a persicultura brasileira demonstra uma resiliência notável. Conforme a citação do fruticultor Sr. Mauro Rogério Scheunemann, de Pelotas-RS, que resume o espírito da região: *“Estamos há muito tempo fazendo isso, pode ser que alguns fruticultores desistam, mas a persicultura não vai parar, o pêsego faz parte da gente”* (Guimarães, 2020). Essa determinação, aliada ao incessante esforço da pesquisa, garante que a cultura do pessegueiro no Brasil continue a se adaptar e prosperar, consolidando seu papel histórico, econômico e social.

## **8. Referências Bibliográficas**

AMBROSIO PERRET & CIA. LTDA. **Estabelecimento de fruticultura**: Quinta Bom Retiro. Pelotas, 1937. 89 p.

BACH, A. N. O patrimônio industrial rural: as fábricas de compotas de pêsego em Pelotas – 1950 a 1970. 2009. 202 f. **Dissertação** (Mestrado em Memória Social e Patrimônio Cultural) – Curso de Pós-Graduação de Memória Social e Patrimônio Cultural, Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/ppgmp/files/2016/11/Alcir-Bach.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.

BACH, A. N. Patrimônio Agroindustrial: Inventário das fábricas de compotas de pêsego na área urbana de Pelotas (1950-1990). **Tese**. 2017. Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/6180>

BARBOSA, W.; PIO, R. **História da fruticultura de clima temperado no Brasil, com ênfase no melhoramento genético**. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280625290>. Acesso em ago. de 2025.

BDPA - **Base de dados da Pesquisa Agropecuária**. Disponível em:

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&busca=Fachinello&qFacets=Fachinello&biblioteca=vazio&sort=&paginacao=t&paginaAtual=7>. Acesso em: 19 de setembro de 2025.

BECKMAN, T.G. Outcrossing in a diverse peach rootstock seed block. **Fruit Varieties Journal**, v.52, n.2, p.100-103, 1998.

BENDER, A.; SOUZA, A.L.K.; DALBÓ, M.A.; MAYER, N.A. Qualidade físico-química de ameixas 'Letícia' produzidas sobre porta-externos clonais e em plantas autoenraizadas, no meio-oeste de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.20, n.3, p. 188-198, 2021.

BIANCHI, V.J.; MENEZES, G.G.; FACHINELLO, J.C. Obtenção de novos porta-enxertos para pessegueiro resistentes a nematoides: fase de implementação do projeto. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., ENCONTRO DA PÓS-GRADUAÇÃO, 5., 2003, **Anais... Pelotas**. Anais... Pelotas: Editora Universitária, 2003, p.313.

BIANCHI, V.J.; SANSAVINI, S.; FACHINELLO, J.C. Microsatellite markers for identification of *Prunus* spp. rootstocks. **Scientia Agricola**, v.61, n.3, p.303-306, 2004.

CAMARGO, R.R. de.; PENSO, G.A.; PERTILLE, R.H.; MAYER, N.A.; SANTOS, C.E.M. dos.; CITADIN, I. Performance of clonal rootstocks for 'BRS-Kampai' peach and own-rooted trees in a mild-winter region. **Ciência e Agrotecnologia**, v.48, e003524, 2024.

CAMPO DALL'ORTO, F.A.; BARBOSA, W.; OJIMA, M.; MARTINS, F.P.; FOBÉ, L.A. Comportamento de pessegueiros IAC enxertados no damasqueiro japonês e no pessegueiro 'Okinawa'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 13., 1994, Salvador. **Anais... Salvador: SBF**, 1994. v.3, p.879-880.

CAMPO DALL'ORTO, F.A.; OJIMA, M.; BARBOSA, W.; MARTINS, F.P. O nanismo do pessegueiro induzido pela enxertia no damasqueiro-japonês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.3, p.517-521, 1992.

CARVALHO, E. V. **Cascata: 50 Anos de pesquisa**. Pelotas: EMBRAPA-CNPFT, 1988. 28p. (EMBRAPA-CNPFT. Documentos, 26).

CITADIN, I. O cultivo do pessegueiro no Paraná. In: RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Ed.). **Pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 635-652.

CLONE Viveiros. 2025. Disponível em: <<https://cloneviveiros.com.br/site/porta-enxerto-de-ameixa-pessego-e-nectarina/>>. Acesso em 01.abr.2025.

DALBÓ, M. A.; DELLA BRUNA, E.; SOUZA, E. L. DE. O cultivo do pessegueiro em Santa Catarina. In: RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Eds.). **Pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 625-634.

DE ROSSI, A.; FACHINELLO, J.C.; RUFATO, L.; PARISOTTO, E.; PICOLOTTO, L.; KRUGER, L.R. Comportamento do pessegueiro 'Granada' sobre diferentes porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.3, p.446-449, 2004.

EDUARDO, I.; DE TOMÁS, C.; ALEXIOU, K.; GIOVANNINI, D.; PIETRELLA, M.; CARPENEDO, S.; RASEIRA, M; BATLLE, I.; CANTIN, C.; ARANZANA, M.J.; ARUS, P.. Fine mapping of the peach pollen sterility gene (Ps/ps) and detection of markers for marker-assisted selection. **Mol Breeding** 40, 57 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11032-020-01139-3>

FACHINELLO, J.C.; LORETI, F. Porta-enxertos para frutas de caroço. I – novas opções com materiais de origem clonal, sementes e híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.22, n.3, p.483-486, 2000.

FAOSTAT, 2025. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops and livestock products**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em 10 outubro de 2025.

FRANZON, R. C.; RASEIRA, M. do C. B. **Origem e história do pessegueiro**. In: RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Eds.). *Pessegueiro*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 19-23.

GONÇALVES, E.D.; MONTEIRO, V. da F.C.; MAYER, N.A.; MOURA, P.H.A.; ALVARENGA, A.A.; ANTUNES, L.E.C.; TREVISAN, R.; PÁDUA, J.G. de. Desempenho de pessegueiro ‘BRS Libra’ autoenraizado e enxertado sobre porta-enxertos clonais em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.1, e5610, 2019.

GRANDO, M. Z. **Pequena agricultura em crise: o caso da “Colônia Francesa” no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser, 1989. 209 p. (Teses, 4).

GUIMARÃES, A. **Pelotas e a indústria de conservas, uma potência da economia gaúcha**. Reportagem publicada no jornal do comércio em 15 de março de 2020. <[https://www.jornaldocomercio.com/\\_conteudo/cadernos/empresas\\_e\\_negocios/2020/03/729110-pelotas-e-a-industria-de-conservas-uma-potencia-da-economia-gaucha.html](https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/cadernos/empresas_e_negocios/2020/03/729110-pelotas-e-a-industria-de-conservas-uma-potencia-da-economia-gaucha.html)>. Acesso em: 25 jun. 2025.

HEDRICK, U. P. **The peaches of New York**. Albany: J. B. Lyon Company, 1917. 541 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal: Lavouras permanentes. 2025**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?t=resultados>>. Acesso em: 17 jun. 2025.

JIMENES, I. M.; MAYER, N. A.; DIAS, C. T. S.; SILVA, S. R. Initial performance of own-rooted and budded ‘Sunraycer’ nectarine plants. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, e00777, 2020.

KLUMB, E.K.; RICKES, L.N.; BRAGA, E.J.B.; BIANCHI, V.J. Evaluation of gas exchanges in different *Prunus* spp. rootstocks under drought and flooding stress. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.39, n.4, e-899, 2017.

KROLOW, A. C. R. Processamento de pêssego. In: RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (eds.). **Cultivo do pessegueiro**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 4). ODS. p. 173-185.

LOPES, I. S. 20ª These: **Cultura industrial da árvores frutíferas, commercio de seus produtos sobre a forma natural ou de conservas, 1908**. In: OTERO, D. T.; HADLER, E. C. (orgs.). *Actas: a classe rural resgatando as raízes da sua história*. Pelotas: Editora Textos, 2008. p. 277-282.

MARTINAZZO, E.G.; PERBONI, A.T.; FARIAS, M.E.; BIANCHI, V.J.; BACARIN, M.A. Photosynthetic activity in the rootstock of hybrid peach trees submitted to water restriction and flooding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.23, n.3, p.231-236, 2011.

MATHIAS, C.; MAYER, N.A.; MATTIUZ, B.; PEREIRA, F.M. Efeito e porta-enxertos e espaçamentos entre plantas na qualidade de pêssegos ‘Aurora-1’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.1, p.165-170, 2008.

MAYER, N.A. Propagação assexuada do porta-enxerto umezeiro (*Prunus mume* Sieb & Zucc.) por estacas herbáceas. 2001, 109f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

- MAYER, N.A.; ANTUNES, L.E.C. **Diagnóstico do sistema de produção de mudas de Prunóideas no Sul e Sudeste do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 52p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 293).
- MAYER, N.A.; BIANCHI, V.J.; CASTRO, L.A.S. **Porta-enxertos**. In: RASEIRA, M.C.B.; PEREIRA, J.F.M.; CARVALHO, F.L.C. (eds.) *Pessegueiro*. Brasília: Embrapa, 2014. p.173-223.
- MAYER, N.A.; BIANCHI, V.J.; FELDBERG, N.P.; MORINI, S. Advances in peach, nectarine and plum propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.39, n.4, e-355, 2017.
- MAYER, N.A.; LEMOS, E.G. de M.; PEREIRA, F.M.; WICKERT, E. Caracterização de três genótipos de umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) por marcadores RAPD. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.4, p.1045-1050, 2008a.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M. Vigor de clones de umezeiro e pessegueiro ‘Okinawa’ propagados por estacas herbáceas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.883-887, 2006.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M.; BARBOSA, J.C. Pegamento e crescimento inicial de enxertos do pessegueiro ‘Aurora-1’ em clones de umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) e ‘Okinawa’ [*Prunus persica* (L.) Batsch] propagados por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.1, p.102-106, 2005a.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M.; BARBOSA, J.C.; KOBAYASHI, V.Y. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de umezeiro enxertados com o pessegueiro ‘Aurora-1’. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.7, p.965-973, 2007.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M.; KOBAYASHI, V.Y. Desenvolvimento inicial no campo de pessegueiros ‘Aurora-1’ enxertados em clones de umezeiro e ‘Okinawa’ propagados por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.02, p.231-235, 2006.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M.; MÔRO, F.V. Caracterização morfológica de três genótipos de umezeiro selecionados como porta-enxertos para pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.3, p.716-722, 2008b.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M.; SANTOS, J.M. dos. Reação de clones de umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) e cultivares de pessegueiro a *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.01, p.181-183, 2003.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M.; SANTOS, J.M. dos. Resistência de clones de umezeiro e cultivares de pessegueiro a *Meloidogyne incognita* (Nemata: Heteroderidae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.2, p.335-337, 2005b.
- MAYER, N.A.; SANTOS, J.M. dos.; PEREIRA, F.M. Reação de clones de umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) e cultivares de pessegueiro [*Prunus persica* (L.) Batsch] ao nematoide anelado *Mesocriconea xenoplax* (Nemata: Criconematidae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.1, p.77-79, 2005c.
- MAYER, N.A.; UENO, B. Sete ciclos de seleção clonal de porta-enxertos potencialmente tolerantes à morte-precoce do pessegueiro. **Anais...** In: VI Encuentro Latinoamericano Prunus Sin Fronteras, 2015, Pelotas. VI Encuentro Latinoamericano Prunus Sin Fronteras. Pelotas-RS: Embrapa Clima Temperado, 2015. v. 1. p. 133-136.
- MAYER, N.A.; UENO, B.; ANTUNES, L.E.C. **Seleção e clonagem de porta-enxertos tolerantes à morte-precoce do pessegueiro**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 13 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 209).

MAYER, N.A.; UENO, B.; ANTUNES, L.E.C.; NAVA, G.; ROTH, F.M. Agronomic performance of 'BRS Kampai' peach on 15 clonal rootstocks and own-rooted trees in Pelotas-RS, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.43, n.2, e-115, 2021.

MAYER, N.A.; UENO, B.; BIANCHI, V.J.; NICOLAO, G. **Recomendação de uso do porta-enxerto 'Flordaguard' para pessegueiro em áreas com ocorrência de morte precoce na região de Pelotas, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 362).

MAYER, N.A.; UENO, B.; FISCHER, C.; MIGLIORINI, L.C. **Porta-enxertos Clonais na Produção de Mudanças de Frutíferas de Carçoço**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 39p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 216).

MAYER, N.A.; UENO, B.; FISCHER, C.; MIGLIORINI, L.C. **Propagação vegetativa de frutíferas de caroço por estacas herbáceas em escala comercial**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013. 55p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 195).

MAYER, N.A.; UENO, B.; NAVA, G.; BIANCHI, V.J.; NICOLAO, G.; ROTH, F.M.; ANTUNES, L.E.C. Performance of clonal rootstocks for peach and own-rooted 'Maciel' trees in area with a history of the PTSL syndrome. **Scientia Horticulturae**, n.328, 112946, 2024.

MAYER, N.A.; UENO, B.; NEVES, T.R.; RICKES, T.B. Cinco anos de avaliações dos efeitos de portaenxertos sobre a produção, produtividade e eficiência produtiva do pessegueiro 'Maciel'. **Revista de La Facultad de Agronomía La Plata**, v.118, p.1-11, 2019.

MOORE, J.N.; BALLINGTON J.R. **Genetic resources of Temperate fruit and nut crops**. Wageningen: International Society for Horticultural Science, 1990. 488p

NACHTIGAL, J.C.; PEREIRA, F.M.; CAMPO DALL'ORTO, F.A.; OJIMA, M.; MARTINS, F.P. Propagação vegetativa do umezeiro (*Prunus mume*) por meio de estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.21, n.2, p.226-228, 1999.

NARDINO, M.; CORRÊA, E. R.; RASEIRA, M. do C. B.; REAL, I. M. da L.; BARROS, W. S.; FRANZON, R. C. Genetic progress over 53 years of the peach breeding program of Embrapa: canning genotypes. **Euphytica**, v. 218, Article number 33, Mar. 2022.

NEVES, T.R.; MAYER, N.A.; UENO, B. Graft incompatibility in *Prunus* spp. preceded by SPAD index reduction. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, p.635-648, 2017.

NICOLAO, G. Plantas autoenraizadas e porta-enxertos clonais para o pessegueiro: morfologia de mudas, reação ao déficit hídrico do solo e performance em área com histórico de morte precoce, 2022, 111f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

NICOLAO, G.; MAYER, N.A.; UENO, B.; BIANCHI, V.J. Production, productivity, and yield efficiency of 'BRS-Kampai' own-rooted peach trees and budded trees on clonal rootstocks. **Applied Fruit Science**, v.67, p.55-64, 2025.

OJIMA, M.; CAMPO-DALL'ORTO, F. A.; BARBOSA, W.; RIGITANO, O. **Frutas de clima temperado**. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Eds.). O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo, Campinas: Fundação Cargill, p. 157-194. 1993.

OJIMA, M.; CAMPO-DALL'ORTO, F.A.; BARBOSA, W.; RIGITANO, O. Desenvolvimento da fruticultura de clima temperado em São Paulo: contribuição do Instituto Agronomico até seu centenario 1887-1987. Campinas: Instituto Agronomico, 1988. 63p. (IAC. Documentos, 11).

OLDONI, C. M.; NIENOW, A. A.; SCHONS, J.; MAYER, N. A. Peroxidase activity and initial growth of 'Barbosa' peach on clonal rootstocks. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 6, e-086, 2019.

PEREIRA, F.M.; MAYER, N.A. Formação de mudas de pessegueiro cv. Aurora-1 enxertadas em dois clones de umezeiro (*Prunus mume* Sieb. et Zucc.) propagados por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.2, p.341-343, 2005.

PEREIRA, F.M.; MAYER, N.A.; CAMPO DALL'ORTO, F.A. 'Rigitano': nova cultivar de umezeiro para porta-enxerto de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.1, p.172-175, 2007.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCATTO, P. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p. 48-56, 2011.

RADMANN, E.B.; BIANCHI, V.J.; FACHINELLO, J.C.; FERREIRA, L.V.; OLIVEIRA, R.P. de. *In vitro* multiplication of 'Flordaguard' rootstock: cytokinin source and concentration effects, explants orientation and period of permanence in the culture medium. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.54 n.1, p.25-34, 2011.

RASEIRA, M. do C. B.; BYRNE, D. H.; FRANZON, R. C. **Pessegueiro**. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. (eds.). Origem e evolução de plantas cultivadas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 909 p. p. 679-705.

RASEIRA, M. do C. B.; FRANZON, R. C.; NAKASU, B. H. **Cultivares**. In: RASEIRA, M. do C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (eds.). Cultivo do pessegueiro. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 4). ODS. p. 40-78.

RASEIRA, M. do C. B.; FRANZON, R. C.; PEREIRA, J. F. M.; SCARANARI, C. The First Peach Cultivars Protected in Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 1084, p. 39-44, 2015. Trabalho apresentado: VIII International Peach Symposium, 2015.

RASEIRA, M. do C. B.; NAKASU, B. H.; FRANZON, R. C. **História do melhoramento genético do pessegueiro em Pelotas, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021.48 p.

REICHERT, L.J.; RASEIRA, M. do C.B.; FRANZON, R.C. **Avaliação de impacto socioeconômico e ambiental no cultivo do pessegueiro tipo conserva**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2025. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 549)

RIGITANO, O. Quatro novas variedades de pêssegos selecionadas para as condições do Estado de São Paulo. **O Agrônomo**: Campinas, v. 16, n.7-8, p. 1-4, 1964.

RIGITANO, O.; OJIMA, M.; CAMPO DALL'ORTO, F.A. **Comportamento de novas seleções de pêssegos introduzidos da Flórida**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. 12p. (Circular, 46).

ROCHA, M.S.; BIANCHI, V.J.; FACHINELLO, J.C.; SCHMITZ, J.D.; PASA, M.S.; SILVA, J.B. Comportamento agrônomo inicial da cv. Chimarrita enxertada em cinco porta-enxertos de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.3, p.583-588, 2007.

ROM, R.C. **The peach: it's history and future**. In: Childres, N. F.; Sherman, W. B. (Eds.). The Peach, Horticultural Publications, Gainesville, Fla. 4ª edição, 1988, p. 1-8.

ROTH, F.M. Porta-enxertos clonais no comportamento agrônomo de pessegueiros. 86p. 2017. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

SANTANA, A.S.; UBERTI, A.; LOVATTO, M.; PRADO, J. do.; SANTOS, M.V. dos.; ROCHA, J.R.A.S.C.; MAYER, N.A.; GIACOBBO, C.L. Adaptability and stability of peach yield of cultivar

BRS Libra grafted on different rootstocks in the subtropics. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.20, n.2, e314620218, 2020.

SCARANARI, C.; RASEIRA, M. do C. B.; FELDBERG, N. P.; BARBOSA, W.; MARTINS, F. P. **Catálogo de cultivares de pêssego e nectarina**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 136 p. il. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 269).

SCORZA, R.; SHERMAN, W.B. Peaches. In: Janick, J.; MOORE, J.N. (Ed.). **Fruit breeding, tree and tropical fruit: temperate fruits**. New York: J. Wiley, 1996. P.325-440.

SHERMAN, W.R.; LYRENE, P.M.; SHARPE, R.H. Flordaguard peach rootstock. **HortScience**, v.26, n.4, p.427-428, 1991.

SILVEIRA, C.A.P.; FACHINELLO, J.C.; FORTES, G.R.de L.; CITADIN, I.; RODRIGUES, A.C.; QUEZADA, A.C.; SILVA, J.B. da. Multiplicação *in vitro* de porta-enxertos do gênero *Prunus* sob diferentes concentrações de BAP em dois meios de cultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.3, p.488-492, 2001.

SOBIERAJSKI, G.R.; BLAIN, G.C.; TEIXEIRA, L.A.J.; MAYER, N.A. Vegetative growth and foliar nutrient contents of peach on different clonal rootstocks. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.56, e02043, 2021.

WANG, Y. Peach growing and germplasm in China. **Acta Horticulturae**, v.173, p.51-55 1985.

WICKERT, E.; LEMOS, E.G.DE M.; PEREIRA, F.M.; MAYER, N.A. Marcadores fAFLP na caracterização de três genótipos de umezeiro selecionados como porta-enxertos para pessegueiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.12, p.1741-174



## *Capítulo 2*

# **Cultivares de pessegueiro tolerantes à toxidez de alumínio**

Luciane Almeri Tabaldi<sup>(1)</sup>

Marcos Vinícius Miranda Aguilár<sup>(2)</sup>

Gerâne Silva Wertonge<sup>(3)</sup>

Carina Marchesan<sup>(4)</sup>

Gustavo Brunetto<sup>(5)</sup>

Newton Alex Mayer<sup>(6)</sup>

### **Resumo**

A toxicidade causada pelo alumínio (Al) em solos ácidos é considerada um dos principais fatores que limitam à produtividade e o desempenho fisiológico de frutíferas nas regiões tropicais e subtropicais, onde a cultura do pessegueiro é amplamente cultivada. Nesses solos, o Al torna-se altamente reativo, na forma de  $Al^{3+}$ , promovendo alterações na integridade da parede e membranas celulares e intensificação do estresse oxidativo, o que compromete o desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo a absorção de água e nutrientes, a longevidade dos pomares, bem como a produtividade em longo prazo. Em função disso, este capítulo apresentará um compilado de conhecimentos sobre os principais aspectos

---

<sup>(1)</sup> Bióloga, Doutora em Agronomia, Professora no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: luciane.tabaldi@ufsm.br

<sup>(2)</sup> Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal, Professor no Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná, PR, Brasil. E-mail: aguilmarcos2009@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Engenheira Florestal, Doutora em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: gerane-wertonge@hotmail.com

<sup>(4)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: marchezancarina@gmail.com

<sup>(5)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

<sup>(6)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado (CPACT), Pelotas, RS, Brasil. E-mail: alex.mayer@embrapa.br

relacionados à tolerância ao Al em pessegueiros, abordando os critérios para a escolha do porta-enxerto adequado, estudos envolvidos na seleção de materiais tolerantes ao Al, relação da acidificação do solo com o aumento da disponibilidade de Al, bem como os impactos negativos desse elemento sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas. O capítulo também abordará as estratégias fisiológicas, bioquímicas e moleculares de tolerância ao Al em pessegueiros, enfatizando os mecanismos envolvidos na mitigação da toxidez. Essas respostas integradas refletem-se diretamente na capacidade das plantas de manter o crescimento e a arquitetura do sistema radicular. Do ponto de vista agrônomo, a tolerância ao Al não substitui as práticas de manejo da acidez do solo, como a calagem, mas representa uma estratégia complementar importante, especialmente em situações em que a correção do pH é parcial ou inviável em camadas subsuperficiais. Assim, a utilização de porta-enxertos de pessegueiro com maior capacidade de tolerância ou resistência ao Al amplia a adaptação da cultura a ambientes edáficos restritivos e contribui para a sustentabilidade dos sistemas de produção.

**Palavras-chave:** *Prunus* spp., solos ácidos, tolerância ao alumínio.

## **1. Introdução**

A produtividade agrícola precisará aumentar em cerca de 60% para suprir a demanda alimentar de uma população estimada em 9,6 bilhões de pessoas em 2050, devendo esse crescimento ocorrer de forma alinhada à sustentabilidade socioambiental dos recursos naturais (FAO, 2012; Fróna et al., 2019). Assim, torna-se cada vez mais necessário otimizar os sistemas produtivos em áreas já cultivadas, adotando estratégias que elevem a produção sem comprometer a qualidade do solo e do ambiente, diante das limitações ambientais, econômicas e sociais à expansão da agricultura. Neste contexto, a fruticultura destaca-se como um dos segmentos mais relevantes da agricultura mundial e brasileira, não apenas pelo elevado valor agregado de seus produtos, mas também por sua expressiva

importância econômica, social e ambiental, especialmente em regiões de agricultura familiar e em cadeias produtivas intensivas em mão de obra (Petry et al., 2025, Wang et al., 2026).

No entanto, a produção de vegetais em todo o mundo está sendo cada vez mais prejudicada pelas condições desfavoráveis do solo e do meio ambiente, que incluem restrições abióticas, como seca, temperaturas extremas, salinidade, inundações, baixos níveis de nutrientes, contaminação orgânica e por metais pesados, além de fatores bióticos, como pragas e doenças transmitidas pelo solo e pelo ar. Essa situação é agravada por cultivos sucessivos e pelos impactos negativos das mudanças climáticas (Pérez-Alfocea, 2015). O desempenho dos pomares é fortemente condicionado pelas características químicas, físicas e biológicas do solo e problemas relacionados à fertilidade, bem como à degradação e contaminação dos solos, os quais figuram entre os principais fatores limitantes à produtividade e à longevidade das plantas frutíferas, exigindo abordagens integradas de manejo e melhoramento genético (Campa et al., 2024; Huang et al., 2025).

Entre as restrições referentes ao solo, a acidez do solo merece destaque por reduzir a disponibilidade de nutrientes e promover o aumento da disponibilidade de metais como o alumínio (Al) em formas solúveis e tóxicas às plantas (Rahman et al., 2018; Warke & Wakgari, 2024). A toxicidade do Al constitui, portanto, a principal ameaça à produção agrícola em solos ácidos, podendo restringir severamente o crescimento e o rendimento das culturas em ambientes com baixos valores de pH (Şahin et al., 2018). Em solos ácidos, o Al torna-se altamente reativo, afetando principalmente o sistema radicular, com inibição do crescimento das raízes, reduzindo a absorção de água e nutrientes e comprometendo o desenvolvimento da parte aérea (Panda et al., 2009; Ur Rahman et al., 2024).

Os solos ácidos ocorrem em grande parte do mundo, principalmente em regiões de clima úmido, sobretudo nas zonas tropicais e subtropicais, nas quais o intenso intemperismo e a elevada pluviosidade promovem a lixiviação de cátions

básicos e a acidificação do solo (Tusar et al., 2023). No Brasil, essa condição é comum no Cerrado, na Amazônia e em áreas do Sul e Sudeste, em cujas áreas a acidez e a toxidez por Al limitam o crescimento radicular, a absorção de nutrientes e a produtividade, especialmente em sistemas perenes (Fageria & Nascente, 2014). Além disso, a fruticultura brasileira é por vezes implantada em solos inadequados a atividade agrícola, nos quais o manejo corretivo em profundidade pode ser complexo e carente de informações diante do longo prazo de permanência da cultura no solo, reforçando a necessidade de estratégias complementares para mitigar os efeitos da toxidez por Al (Natale et al., 2012).

A produção de pêssegos ocorre em diversas regiões do mundo, abrangendo áreas de clima temperado e subtropical, nas quais as condições edáficas são bastante heterogêneas (López-Urrea et al., 2024). No Brasil, a produção de pêssegos concentra-se principalmente nas regiões Sul e Sudeste, sendo o principal estado produtor o Rio Grande do Sul, que concentra mais de 60% da produção nacional (IBGE, 2024). Nesses locais, os pomares muitas vezes podem apresentar alguma deficiência química na fertilidade do solo, baixos teores de matéria orgânica, baixos níveis de pH, altos níveis de Al e limitações de aspectos físicos do solo, desencadeando a “morte precoce” da cultura (Mayer & Ueno, 2021). Nesse sentido, a enxertia e o uso de porta-enxertos compatíveis e dotados de características desejáveis, como a tolerância ao Al, somam-se ao melhoramento das cultivares-copa como estratégias complementares para tornar as plantas mais resilientes às adversidades bióticas e abióticas impostas pelo clima e pelos solos. Considerando que o primeiro contato do Al ocorre no sistema radicular, a adoção de porta-enxertos tolerantes permite atenuar os efeitos negativos desse elemento, assegurando melhor crescimento das plantas, maior eficiência na absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, a manutenção da produtividade e da qualidade dos frutos em ambientes edáficos restritivos.

Este capítulo tratará dos principais aspectos relacionados à tolerância ao Al em pessegueiros, abordando inicialmente sobre a acidificação do solo e a relação

desta com o aumento da disponibilidade de Al na solução do solo. Em seguida, será dissertado os critérios para a escolha do porta-enxerto adequado, desde considerar a escolha do viveirista, dos aspectos a serem observados nas mudas, métodos de propagação e sistemas de produção de mudas destes viveiros. Também trará um breve histórico do programa de melhoramento genético de porta-enxertos *Prunus* spp. e os estudos envolvidos na seleção de materiais tolerantes ao Al. O capítulo também abordará os impactos negativos desse elemento sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas, bem como as estratégias fisiológicas, bioquímicas e moleculares de tolerância ao Al em pessegueiros, enfatizando os mecanismos envolvidos na mitigação da toxidez. Por fim, serão discutidos os desafios na integração da tolerância ao Al com características agronômicas de interesse comercial, considerando a necessidade de conciliar adaptação ao estresse edáfico com produtividade, qualidade de frutos e viabilidade econômica.

## **2. Acidez em solos e disponibilidade de alumínio**

A acidificação do solo é um processo natural associado à formação e à evolução dos solos, podendo ser intensificado por práticas antrópicas, como o uso contínuo de fertilizantes e a remoção de bases por colheitas sucessivas. Em condições naturais, a acidificação resulta principalmente de processos biogeoquímicos relacionados à atividade de plantas e microrganismos do solo, com destaque para a respiração radicular e microbiana e a decomposição da matéria orgânica.

Durante esses processos, ocorre a produção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que pode ser liberado para a atmosfera ou permanecer no solo. Na solução do solo, o  $\text{CO}_2$  dissolve-se e forma ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ), o qual se dissocia parcialmente, liberando prótons ( $\text{H}^+$ ) e promovendo a acidificação do meio. Em solos bem drenados e com precipitação suficiente para favorecer a lixiviação, esse mecanismo representa a principal fonte de acidificação quando o pH do solo se

mantém acima de aproximadamente 5,0 a 5,5. Os prótons liberados reagem com os grupos funcionais das superfícies reativas do solo, como argilas e (hidr)óxidos, promovendo a substituição de cátions básicos, especialmente  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , que tendem a ser removidos do perfil por lixiviação. As principais reações químicas envolvidas nesse processo estão sintetizadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Principais reações químicas envolvidas na acidificação do solo e na disponibilidade de alumínio.

Processo	Equação química	Descrição
Formação do ácido carbônico	$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3^*$	Dissolução do $\text{CO}_2$ respiratório na solução do solo
Dissociação do ácido carbônico	$\text{H}_2\text{CO}_3^* \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$	Liberação de prótons e acidificação do solo
Dissociação de ácidos orgânicos	$\text{R-COOH} \rightleftharpoons \text{R-COO}^- + \text{H}^+$	Liberação de $\text{H}^+$ por ácidos orgânicos da rizosfera
Nitrificação do amônio	$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$	Oxidação microbiana do amônio com liberação de $\text{H}^+$
Hidrólise do alumínio (1ª etapa)	$\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{AlOH}^{2+} + \text{H}^+$	Início da hidrólise do Al
Hidrólise do alumínio (2ª etapa)	$\text{AlOH}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_2^+ + \text{H}^+$	Continuação da liberação de $\text{H}^+$
Hidrólise do alumínio (3ª etapa)	$\text{Al}(\text{OH})_2^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}^+$	Etapa final da hidrólise do Al

Fonte: Os autores.

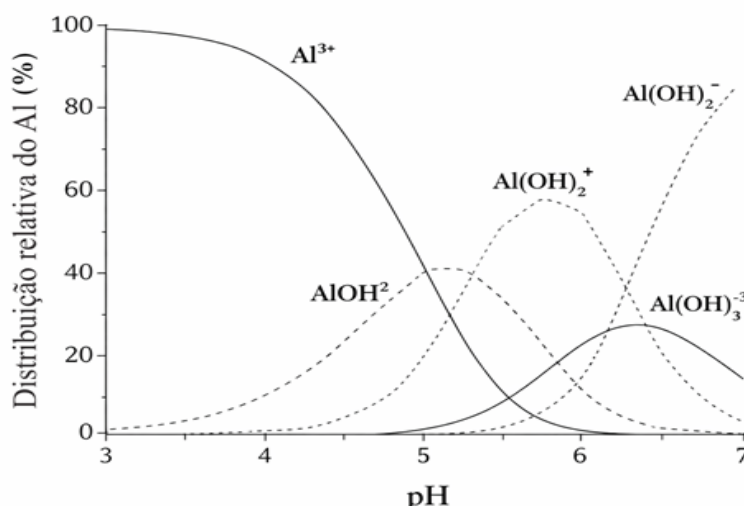
Em valores de pH inferiores a 5,0–5,5, os ácidos orgânicos passam a exercer papel predominante na acidificação do solo. Esses compostos são originados principalmente de exsudatos radiculares, da decomposição de resíduos vegetais e da mineralização da matéria orgânica. Como esses ácidos possuem, em geral, valores de pKa mais baixos que o ácido carbônico, são capazes de reduzir o pH do solo a valores inferiores a 4,0, situação comum em solos florestais, turfeiras e solos agrícolas altamente intemperizados.

Outro mecanismo importante de acidificação está associado à absorção diferencial de íons pelas plantas. De modo geral, a absorção preferencial de cátions em relação aos ânions resulta na liberação de prótons pela raiz, contribuindo para a

acidificação da rizosfera. Esse efeito é particularmente relevante em sistemas agrícolas intensivos. A adubação nitrogenada, especialmente com fertilizantes à base de amônio ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), intensifica esse processo, uma vez que o nitrogênio amoniacal é rapidamente oxidado a nitrato por microrganismos do solo, com liberação de íons  $\text{H}^+$  durante a nitrificação (Tabela 1). Quando o nitrato formado não é absorvido pelas plantas e é lixiviado, ocorre também a perda concomitante de cátions básicos, intensificando a acidificação do solo ao longo do tempo.

A redução do pH do solo favorece a solubilização de minerais contendo alumínio (Al), resultando no aumento da concentração de  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo. O Al apresenta elevada capacidade de hidrólise, reagindo sucessivamente com moléculas de água e liberando prótons adicionais, o que contribui para a manutenção e o agravamento da acidez. Dessa forma, estabelece-se um ciclo no qual a acidificação do solo aumenta a disponibilidade de Al, e a hidrólise do Al, por sua vez, intensifica a acidez.

A forma química sob a qual o Al ocorre na solução do solo é fortemente dependente do pH. Em condições de pH baixo, típicas de solos ácidos, predomina a forma  $\text{Al}^{3+}$ , altamente reativa e considerada a principal responsável pelos efeitos fitotóxicos do Al. À medida que o pH aumenta, o  $\text{Al}^{3+}$  sofre sucessivas reações de hidrólise, originando espécies hidroxiladas, como  $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{Al(OH)}_2^+$  e  $\text{Al(OH)}_3$ , com menor atividade química e menor potencial fitotóxico. Esse comportamento é ilustrado na Figura 1, que evidencia a diminuição da fração de  $\text{Al}^{3+}$  e o aumento das formas hidroxiladas à medida que o pH da solução do solo se eleva.



**Figura 1.** Distribuição relativa das principais espécies químicas de alumínio em função do pH da solução do solo. Em valores de pH inferiores a 5,0, predomina a forma  $Al^{3+}$ , considerada a mais reativa e fitotóxica. Com o aumento do pH, ocorre a progressiva hidrólise do Al, com formação de espécies hidroxiladas menos tóxicas, como  $AlOH^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$  e  $Al(OH)_3$ , reduzindo a atividade do Al na solução do solo. Fonte: adaptado de Lindsay, 1979; Sposito, 2008.

Em solos altamente intemperizados, comuns em regiões de clima úmido, esse conjunto de processos resulta em elevada saturação por Al no complexo de troca, tornando o  $Al^{3+}$  um dos principais fatores químicos limitantes ao crescimento radicular e ao desenvolvimento de culturas sensíveis. Assim, a acidez do solo e a disponibilidade de Al estão intrinsecamente associadas e representam um dos principais desafios para a produção agrícola em ambientes de solos ácidos, como aqueles onde a cultura do pessegueiro é tradicionalmente conduzida.

### 3. Cultivares e seleções de porta-enxertos do gênero *Prunus* spp.

Como o próprio nome sugere, a principal característica que um “porta-enxerto” deve possuir é a de “receber” ou “portar” o enxerto, ou seja, ser morfológicamente compatível com a cultivar-copa que será enxertada sobre ele, formando uma única planta composta por dois (ou mais) genótipos. Portanto, o primeiro critério utilizado na seleção de um bom porta-enxerto é a compatibilidade de enxertia com as cultivares-copa comerciais disponíveis da espécie ou do gênero, pois de nada adianta um determinado genótipo ser tolerante ou resistente a uma

determinada adversidade física, química ou biológica de solo se ele não “portar” a cultivar-copa ao longo de um período de tempo economicamente favorável (Mayer et al., 2014).

Inúmeras são as formas de se fazer a enxertia nas diferentes espécies vegetais, com diversas aplicações e objetivos em plantas frutíferas, olerícolas, silvícolas, nos viveiros e em plantas de jardim (Hartmann et al., 2002; Melnyk & Meyerowitz, 2015). Para que uma união copa/porta-enxerto seja harmoniosa e compatível, os genótipos devem ser, necessariamente, botanicamente próximos entre si. De um modo geral, enxertias interclonais e intraespecíficas são quase sempre compatíveis; enxertias interespecíficas e intragenéricas são geralmente compatíveis; enxertias intergenéricas e intrafamiliares raramente são compatíveis; e enxertias interfamiliares são essencialmente sempre incompatíveis (Mudge et al., 2009). Assim, a enxertia pode ser uma oportunidade de unir, em uma mesma planta, um genótipo produtivo, adaptado ao clima e produtor de frutas com características adequadas (o “enxerto” ou “copa”) sobre um genótipo que constituísse o sistema radicular (o “porta-enxerto”), de fácil propagação, com boa formação de raízes e ancoragem, que controlasse o vigor da planta, com tolerância a pragas e doenças de solo, seca, excesso de umidade, asfixia de raízes, salinidade, baixa fertilidade, e alcalinidade ou acidez de solo (Hartmann et al., 2002; Gainza et al., 2015).

A performance produtiva de uma planta no pomar e a sua reação às adversidades do clima e do solo depende, inicialmente, do uso de mudas com qualidade sanitária, genética e morfológica, as quais são passíveis de interferência humana. Como o pessegueiro, a nectarineira e a ameixeira são plantas frutíferas perenes, ou seja, vivem de forma produtiva por muitos anos, essas qualidades são ainda mais importantes. Por esta e por várias outras razões, a muda de uma planta frutífera deve ser vista como um “investimento”, e não como “custo”. Portanto, pela importância das corretas escolhas no planejamento do pomar, serão

inicialmente comentados alguns aspectos a serem observados nas mudas, métodos de propagação do porta-enxerto e sistemas de produção de mudas.

### **3.1. Sistemas de produção nos viveiros e qualidade de mudas**

As mudas de plantas frutíferas de caroço devem, obrigatoriamente, serem adquiridas de viveiristas devidamente registrados no RENASEM (Registro Nacional de Sementes e Mudanças), do Ministério da Agricultura e Pecuária, como “Produtor de Mudanças”. O viveirista deve ser reconhecido pelo setor persícola como “idôneo”, além de estar com seu estabelecimento sob a responsabilidade técnica (o RT) de um Engenheiro Agrônomo, o qual deve acompanhar e orientar todas as fases produtivas.

Antes de qualquer aquisição de mudas, o fruticultor ou comprador deve fazer uma visita ao viveiro escolhido para conhecer melhor o sistema de produção e observar as características daquele que será o principal elemento do seu novo pomar: as mudas. O sistema de produção de mudas diz respeito à forma como as mudas são produzidas no viveiro. Em plantas frutíferas de caroço, como o pessegueiro, a nectarineira e a ameixeira, as quais apresentam importância econômica no Brasil, temos três sistemas principais de produção de mudas:

- a) Sistema tradicional de produção de mudas no solo, em condições de campo. Nesse sistema de produção, todas as fases de viveiro ocorrem diretamente no solo, em condições de campo. Para a comercialização, as mudas devem ser arrancadas do solo e serão do tipo “raiz nua”.
- b) Sistema em embalagens: nesse sistema, todas as etapas de produção das mudas são realizadas diretamente nas próprias embalagens em que serão comercializadas, que podem ser embalagens biodegradáveis, recicláveis, tubetes, vasos de plástico (flexível ou rígido) ou saquinhos de plástico. Nesse sistema, as mudas serão plantadas no campo com as raízes envoltas pelo torrão de substrato que foi utilizado durante sua produção e são chamadas de “mudas em torrão”.

c) Sistema intermediário ou semi-hidropônico: nesse sistema, as mudas são produzidas em canaletões suspensos, contendo substrato e equipados com mangueiras de fertirrigação. Assim, as mudas podem ser produzidas a céu aberto ou com alguma cobertura (plástico ou tela de sombreamento), mas sem uso do solo. Como os canaletões são coletivos, ou seja, comportam várias mudas que são produzidas lado-a-lado (normalmente entre 10 e 15cm entre si, na linha), estas devem ser arrancadas para comercialização na forma de “raiz nua”.

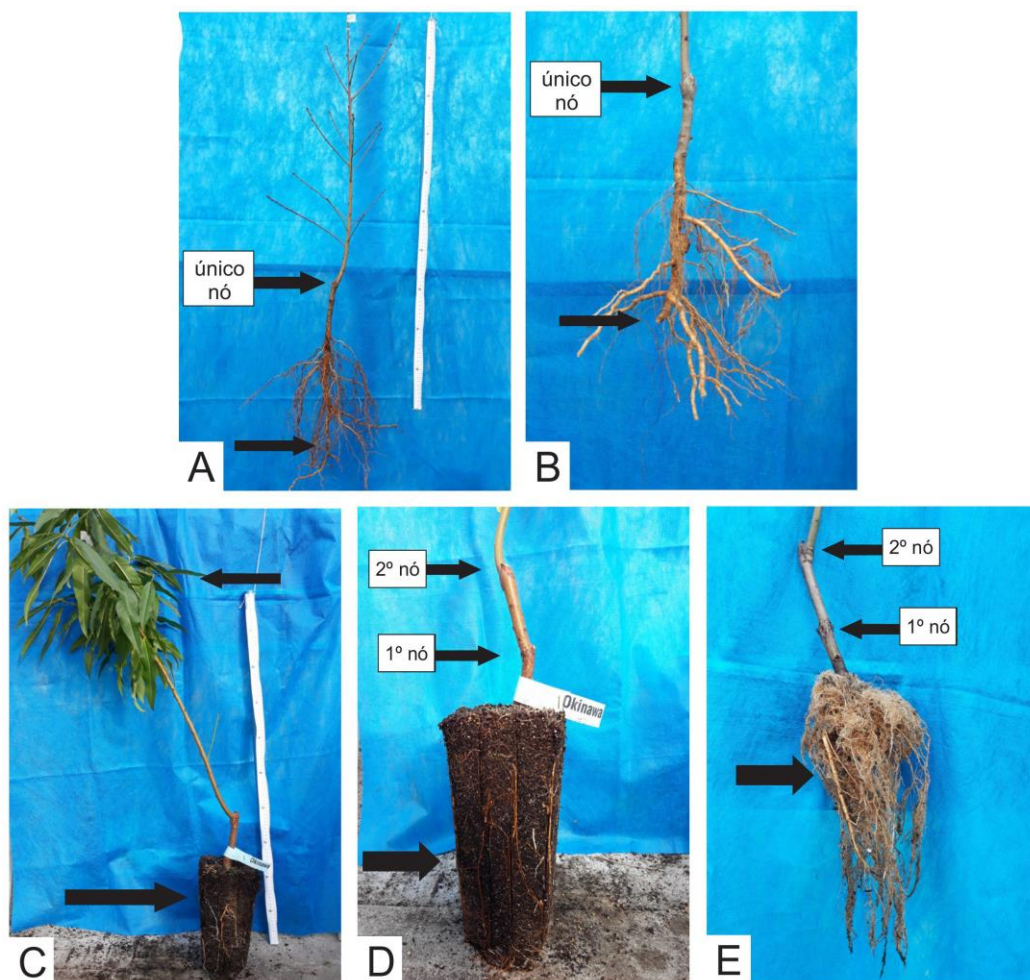
Outros aspectos importantes a serem observados são o método de propagação do porta-enxerto e o nível tecnológico empregado no sistema de produção de mudas, visto que eles definem o tipo de sistema radicular e a qualidade morfológica das raízes. É importante destacar que o número de raízes primárias de um pessegueiro, ameixeira ou nectarineira é definido ainda no viveiro de produção das mudas, especificamente na fase de propagação do porta-enxerto, o que vai depender do método de propagação utilizado para o porta-enxerto e da tecnologia adotada. No caso da estaquia herbácea em câmara de nebulização intermitente, o número médio de raízes adventícias por estaca pode variar consideravelmente em função do genótipo, apresentando desde poucas raízes (< 5 raízes por estaca) até elevado número (> 50 raízes por estaca) e, excepcionalmente, já foram contabilizadas mais de 100 raízes em uma única estaca herbácea (Mayer et al., 2020; Nicolao et al., 2021). Ou seja, porta-enxertos com satisfatório enraizamento no viveiro darão origem a plantas com robusto sistema radicular e, potencialmente, maior desempenho produtivo no pomar.

Quanto ao método de propagação, os porta-enxertos do gênero *Prunus* spp. disponíveis podem ser de dois tipos (Hartmann et al., 2002; Gainza et al., 2015): Os propagados por germinação de sementes, também chamados de *seedlings*: são aqueles em que se utiliza as sementes de uma cultivar ou linhagem, preferencialmente que tenha sido selecionada para a função porta-enxerto. Esse método de propagação é mais fácil, mais barato e provavelmente ainda seja o mais

utilizado para porta-enxertos *Prunus* spp. em nível mundial. Uma outra vantagem adicional do uso de sementes é que as viroses são transmitidas à progênie em baixíssimas porcentagens, ou não são transmitidas. Entretanto, como desvantagem, porta-enxertos propagados por sementes normalmente apresentam variabilidade genética devido à heterozigiosidade e/ou polinização cruzada, o que traz consequências negativas aos pomares, como diferenças de vigor, longevidade, qualidade das frutas e de produção entre as plantas, além da perda de características genéticas pelas quais o porta-enxerto foi selecionado. Porta-enxertos propagados por sementes dão origem ao sistema radicular pivotante ou axial (Figura 2A).

Os porta-enxertos clonais: são aqueles obtidos de indivíduos selecionados e que, propagados vegetativamente (por estaquia, alporquia ou cultura de tecidos), são clones com a exata composição genética da planta original. Sobre o porta-enxerto clonal realiza-se a enxertia de uma cultivar-copa trazendo, como principais vantagens, dar origem a mudas compostas por genótipos que são cópias fiéis das suas plantas originais, que formarão pomares uniformes, com maior facilidade de manejo e que tendem a ser mais produtivos. Porta-enxertos clonais preservam as características genéticas selecionadas, tais como a tolerância às adversidades bióticas e abióticas, além de influenciar de forma homogênea o vigor e o hábito de crescimento entre as plantas enxertadas, a floração e o desenvolvimento dos frutos na copa. Porta-enxertos propagados vegetativamente dão origem ao sistema radicular fasciculado, ou seja, não há a formação de uma raiz pivotante típica (Figura 2E).

A Figura 2 ilustra os sistemas radiculares do tipo pivotante e fasciculado em mudas de pessegueiro, bem como algumas características morfológicas que podem ser identificadas em ambos os tipos de mudas, assim como os sistemas de produção utilizados nos viveiros.



**Figura 2.** Muda de pessegueiro enxertada sobre um **porta-enxerto propagado por semente**, produzida em viveiro convencional a campo (raiz nua), que possui um único nó na parte aérea (= ponto de enxertia) e raiz pivotante típica (➡) (A); detalhe do sistema radicular da muda de raiz nua após o arranquio mecânico no viveiro e poda de toailete, demonstrando que a raiz pivotante também é tradicionalmente podada (➡) (B); muda de pessegueiro enxertada sobre porta-enxerto clonal ‘Okinawa’ **propagado por estaca herbácea**, produzida em sistema de estufa agrícola, com embalagem rígida (citropote) e fertirrigação localizada, demonstrando a presença de folhas (mesmo no inverno) (➡) e torrão intacto envolvendo as raízes (➡), após a retirada da embalagem (C); ausência de enovelamento das raízes fasciculadas (➡) em muda de pessegueiro pronta para o plantio, a qual foi enxertada sobre porta-enxerto ‘Okinawa’ propagado por estaca herbácea e produzida em citropote, com destaque para a presença de dois nós na parte aérea, sendo: 1º nó = brotação do porta-enxerto à partir da estaca original; e 2º nó = ponto de enxertia (➡) (D); sistema radicular fasciculado do porta-enxerto clonal ‘Okinawa’ propagado por estaca herbácea, após remoção do substrato por lavagem com água, para demonstrar o elevado número de raízes primárias, o abundante volume de radicelas (➡) e a ausência da raiz pivotante (E). Fotos: Newton Alex Mayer. Arte gráfica: Kerlley Cristina de Assis Mayer.

Mudas com qualidade morfológica devem apresentar equilíbrio entre parte aérea e sistema radicular, com raízes bem distribuídas, sem enovelamento e com grande volume de raízes finas (Pereira & Mayer, 2005; Mayer et al., 2014; Nicolao et al., 2023). Mudas com essas características apresentam condições mais favoráveis à fixação e pegamento no campo, possibilitam brotação e crescimento inicial mais rápido, boa ancoragem no solo e maior potencial de absorção de água e de nutrientes, se as condições físico-químicas do solo assim permitirem. A comercialização das mudas deve ser acompanhada de nota fiscal, com discriminação da cultivar-copa e do porta-enxerto.

Ainda que o método de propagação do porta-enxerto e a tecnologia do sistema de produção do viveiro exercem forte influência na qualidade morfológica do sistema radicular das mudas, algumas características podem sofrer alterações. No tradicional sistema de viveiro a campo, que predomina no Brasil para plantas frutíferas de caroço e que o porta-enxerto é propagado por sementes, normalmente ocorre o corte da raiz pivotante ao realizar o arranquio das mudas do solo. Além disso, ao preparar os feixes para o transporte e comercialização, o viveirista também realiza a poda de toalete da parte aérea e das raízes das mudas (inclusive a raiz pivotante), para redução do volume. Assim, na prática, a muda deixou de ter uma raiz pivotante típica (Figura 1B) em função do tradicional manejo adotado nos viveiros (Mayer et al., 2014; Nicolao et al., 2023). No sistema a campo, solos de viveiros sem a devida calagem, sem subsolagem ou sem adoção de fertirrigação também limitam o crescimento das raízes das mudas, com redução da procura e menor valoração pelos compradores mais exigentes (Mayer et al., 2014). Outro exemplo típico de modificação morfológica do sistema radicular das mudas no viveiro é quando ocorre enovelamento das raízes em decorrência de manejo inadequado ou manutenção prolongada nas embalagens que favorecem essa situação, tais como saquinhos plásticos ou vasos rígidos redondos, se desprovidos de ranhuras internas.

### **3.2. Programas de melhoramento genético de porta-enxertos *Prunus* spp. e tolerância ao alumínio**

Em nível mundial, os programas de seleção, avaliação e melhoramento genético de porta-enxertos do gênero *Prunus* spp. tiveram início nos últimos 100 anos. Nos Estados Unidos e Canadá, as primeiras pesquisas com porta-enxerto iniciaram nas décadas de 1930 e 1940, com o objetivo de encontrar cultivares ou seleções com tolerância a estresses bióticos e abióticos. Na França, iniciou na década de 1940, visando compatibilidade com múltiplas espécies e tolerância a fatores bióticos e abióticos. Posteriormente, outros países, como a Itália (na década de 1950) e a Espanha (na década de 1960) também iniciaram trabalhos de avaliação e desenvolvimento de porta-enxertos, os quais resultaram no lançamento de diversas cultivares de porta-enxerto. Mais recentemente, países do leste europeu, como a Romênia, Hungria e Sérvia, assim com os asiáticos Rússia, China e Japão, também desenvolveram e lançaram diversas cultivares de porta-enxerto adaptadas para as suas condições edafoclimáticas (Reighard & Loreti, 2008). Para o desenvolvimento desses porta-enxertos, as principais características almejadas são: a compatibilidade de enxertia, a facilidade de propagação sexuada ou assexuada, a adaptação e tolerância a solos calcáreos, solos pesados com alta densidade, encharcamento, seca, salinidade, clorose férrica, baixas temperaturas de inverno, resistência a fitonematóides e fungos de solo, assim como são almejados porta-enxerto que propiciem incrementos na produtividade e na qualidade de frutos, controle de vigor da planta e boa ancoragem (Reighard & Loreti, 2008; Gainza et al., 2015). Portanto, solos ácidos e com alta saturação de alumínio (Al) normalmente não são encontrados nas áreas de produção de frutas de caroço desses países, onde os programas de melhoramento e avaliação de porta-enxertos estão mais avançados e consolidados.

Os solos ácidos e com elevada saturação de Al são tipicamente encontrados em países tropicais do globo terrestre, como no Brasil. Como as áreas de cultivo de pessegueiro, nectarineira e ameixeira são bem menores nos países tropicais,

comparativamente aquelas encontradas nos países tipicamente temperados, são poucas as pesquisas sobre reações de porta-enxertos de *Prunus* spp. ao Al tóxico do solo.

O Al é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre. Em solos ácidos, que representam cerca de 50% das terras cultivadas, o Al está presente na forma de íons  $Al^{3+}$  fitotóxicos. Esses íons penetram nas raízes, causando redução do crescimento por meio da inibição do ciclo celular e do processo de alongamento celular, levando a uma redução na produtividade (Kocjan et al., 2025).

O aumento da concentração de Al e a diminuição do pH causam danos à maioria das espécies vegetais, tais como: a redução da altura de plantas, do comprimento de raízes, da biomassa fresca e seca de raízes e de parte aérea, redução da produtividade, da qualidade das frutas e da lucratividade das culturas (Şahin et al., 2018). Em *seedlings* de pessegueiro ‘Elberta’ mantidos por 27 dias com solução nutritiva acrescido de 2.000  $\mu M$  de Al, os sintomas de toxicidade por Al foram observados nas folhas, o qual restringiu severamente o crescimento das raízes. O estágio inicial da toxicidade por Al foi caracterizado por clorose marginal que posteriormente se desenvolveu em áreas necróticas, estendendo-se ao longo das nervuras em direção à nervura central. Estágios avançados de toxicidade foram caracterizados pelo colapso da nervura central, necrose apical e desfolha das plântulas, que são sintomas típicos de deficiência de cálcio em pessegueiros. Em altas concentrações de Al, as raízes morreram e as raízes novas se desenvolveram como cilindros de formato irregular, com constrictões e alargamentos no ápice da raiz (Edwards et al., 1976).

Basicamente, existem dois métodos de controle da toxicidade do Al: 1) a tolerância da espécie ou cultivar (os mecanismos de tolerância podem diferir de acordo com a espécie); e 2) a remoção do Al da zona radicular (Şahin et al., 2018).

Em trabalho realizado em Eldorado do Sul-RS, sob condições de campo, foi constatado que a distribuição das raízes de pessegueiros ‘Maciel’ enxertados nos porta-enxertos ‘Nemaguard’ e ‘Okinawa’ foi afetada pela presença de Al, com

a redução da quantidade de raízes mais grossas ( $\varnothing > 2,0$  mm) em regiões de solo com alta saturação de Al. Além do Al, a distribuição do sistema radicular também foi limitada pela compactação do solo, notadamente nas entre-linhas, devido ao trânsito de máquinas agrícolas (Petry et al., 2016).

A reação de espécies vegetais ao Al do solo pode ser classificada em: a) sensíveis: aquelas que são injuriadas com doses  $< 7$  mg L<sup>-1</sup>; b) sensibilidade intermediária: aquelas que são injuriadas com doses entre 13 e 27 mg L<sup>-1</sup>; e c) plantas insensíveis: não são afetadas por doses  $> 80$  mg L<sup>-1</sup> (Thorton et al., 1986, citado por Chibiliti & Byrne, 1989).

Para fazer *screening* de genótipos de *Prunus* spp. e avaliar tolerância ao Al, utilizando como fonte o Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 17H<sub>2</sub>O, Chibiliti & Byrne (1989) recomendam a dose de 50 mg L<sup>-1</sup>. Variáveis que podem ser utilizadas para identificação de porta-enxertos tolerantes ao Al são a massa fresca e seca de ramos, o tamanho de folha, os sintomas de queimaduras nas folhas (Kongsri et al., 2014) e a massa seca total das plantas (Aguilar et al., 2024).

### **3.3. O trabalho de seleção de porta-enxertos de *Prunus* spp. na Embrapa Clima Temperado**

No estado do Rio Grande do Sul, um dos principais problemas agronômicos que a cultura do pessegueiro enfrenta é a síndrome da morte-precoce, que provoca severos danos à brotação, ao florescimento, e aos ramos mistos e estruturais das plantas, o que compromete a longevidade dos pomares e causa perdas econômicas aos fruticultores (Mayer et al., 2009; Mayer & Ueno, 2012; Mayer & Ueno, 2021). Constatada pela primeira vez no final da década de 1970, na região persícola de Pelotas-RS, essa síndrome causa danos bastante variáveis entre as plantas do mesmo pomar e entre pomares, sem haver uma correlação com a cultivar-copa, localização no pomar ou idade das plantas, podendo ocorrer em reboleiras ou em plantas isoladas (Campos, 1992; Carneiro et al., 1993; Carneiro et al., 1998). Essa situação levou os pesquisadores da Embrapa Clima Temperado a

constatar que a variabilidade genética dos porta-enxertos utilizados, em decorrência do uso de misturas de caroços obtidos nas indústrias de conservas, das taxas de polinização cruzada e da segregação genética pelo uso de sementes, exerce forte efeito na manifestação dos sintomas, de tal forma que o controle da identidade genética do porta-enxerto seria fundamental para elucidar o problema (Mayer et al., 2009). Essa situação, indesejável para pomares comerciais, poderia ser utilizada em um trabalho de seleção de porta-enxertos tolerantes.

Em 2007 foi idealizado um trabalho de seleção clonal *in situ*, em pomares comerciais de pessegueiro afetados pela morte-precoce no estado do Rio Grande do Sul, que baseou-se na variabilidade genética dos porta-enxertos e na “pressão de seleção” exercida sobre eles, em decorrência da variabilidade física, química e biológica dos solos e dos níveis de adoção de tecnologias entre as propriedades rurais (Mayer et al., 2009; Mayer & Ueno, 2012). Esse trabalho também considerou a experiência e os avanços obtidos no sudeste dos Estados Unidos com o “Peach Tree Short Life” (PTSL), síndrome bastante semelhante à morte-precoce que ocorre no Rio Grande do Sul, onde foram desenvolvidas pesquisas visando a identificação e o desenvolvimento de porta-enxertos tolerantes ao PTSL (Okie et al., 1994; Beckman et al., 2008; Beckman et al., 2012).

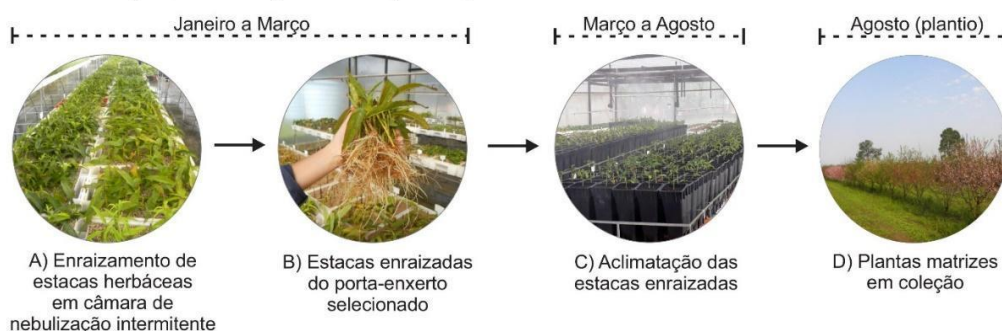
Uma metodologia inédita de seleção e clonagem foi desenvolvida pela Embrapa Clima Temperado, a qual é iniciada no final do inverno, quando é possível identificar plantas assintomáticas em meio a diversas plantas severamente afetadas pela síndrome. Com a hipótese de que a planta assintomática possui um porta-enxerto tolerante, realiza-se a decepa abaixo do ponto de enxertia, objetivando a eliminação total da cultivar-copa e o estímulo à brotação das gemas laterais do porta-enxerto (Figura 3). Transcorridos três ou quatro meses, os ramos herbáceos codificados de cada cepa são coletados para o preparo de estacas herbáceas e enraizamento adventício (Mayer et al., 2009). As estacas enraizadas darão origem a mudas autoenraizadas, ou seja, clones do porta-enxerto original de

interesse, as quais constituirão plantas matrizes de trabalho, concluindo a Fase 2 do plano de pesquisa (Figura 3).

**Fase 1:** Seleção de plantas e resgate de brotações.



**Fase 2:** Clonagem, aclimação e formação de plantas matrizes.



**Figura 3.** Diagrama das fases de seleção e clonagem de porta-enxertos potencialmente tolerantes à morte-precoce do pessegueiro, desenvolvido pela Embrapa Clima Temperado. Fotos: Newton Alex Mayer. Arte gráfica: Kerley Cristina de Assis Mayer.

Ao longo de sete ciclos bianuais de seleção e clonagem, realizado por pesquisadores da Embrapa Clima Temperado, foram selecionadas e decepadas 352 plantas em 45 diferentes propriedades rurais, localizadas em 8 municípios gaúchos (Mayer & Ueno, 2015; Mayer & Ueno, 2021). Dentre os diversos questionamentos que surgiram durante a realização desse trabalho, um era relativo a qual seria o papel da fertilidade do solo na manifestação dos sintomas da morte-precoce, tendo em vista que a literatura já reportara outros fatores abióticos como predisponentes (Jones & Jones, 1974; Brittain & Miller Jr., 1978; Wehunt et al., 1980; Ritchie & Clayton, 1981; Reilly et al., 1986; Marafon et al., 2009; Luna-Guerrero et al., 2011). Na continuidade das avaliações, a análise química de amostras de solo da

rizosfera, coletadas sob a copa de pessegueiros assintomáticos e sintomáticos de morte-precoce, demonstrou que não houve diferença significativa da fertilidade do solo entre os dois grupos de plantas. Embora a fertilidade do solo, na maioria dos pomares amostrados, estava aquém do recomendado para a cultura do pessegueiro, a ocorrência da morte precoce não apresentou relação com os atributos químicos de fertilidade do solo (Mayer & Ueno, 2015). Nesse estudo, constatou-se que diversas amostras de solo apresentavam pH abaixo de 5,0 e saturação por alumínio (m) acima de 50%. Tendo em vista que diversos pessegueiros apresentavam-se com bom vigor, produtivos e assintomáticos de morte-precoce, surgiu a hipótese da existência de porta-enxertos tolerantes ao Al tóxico do solo. De acordo com Chibiliti & Byrne (1989), a busca por tolerância aos solos com baixa fertilidade e ácidos deve começar entre pessegueiros naturalizados, que são tradicionalmente utilizados como porta-enxertos.

Em trabalhos conduzidos em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mudas de pessegueiro ‘BRS-Mandinho’, enxertadas sobre cultivares e seleções clonais de porta-enxerto, foram mantidas em sistema hidropônico para avaliar a reação ao Al (ausência e presença, na dose de 100 mg L<sup>-1</sup>). Foi constatado que as seleções clonais “FB-ESM-09-43”, “JB-ESM-09-13”, “SAS-SAU-09-71”, “SS-CHI-09-40” e “VEH-GRA-09-55” (*P. persica*), assim como a cultivar ‘Sharpe’ [‘Chicasaw’ (*Prunus angustifolia* Marsh.) x *Prunus* spp.], são tolerantes ao Al. Identificou-se também que o nível crítico do Al nas raízes em relação à área radicular dos porta-enxertos foi de 1.400 mg Al kg<sup>-1</sup> e que a faixa de toxicidade ficou entre 1.200 e 1.500 mg Al kg<sup>-1</sup> (Aguilar et al., 2023). Tendo-se como referência a cultivar Capdeboscq e, com base na matéria seca total das plantas, as seleções clonais “FB-ESM-09-43”, “SAS-SAU-09-71” e “VEH-GRA-09-55” são as mais tolerantes ao Al (Aguilar et al., 2024).

Esses estudos confirmaram a hipótese formulada da existência de porta-enxertos tolerantes ao Al tóxico do solo existentes nos pomares de pessegueiro gaúchos, afetados pela síndrome da morte-precoce. Destaca-se que a característica

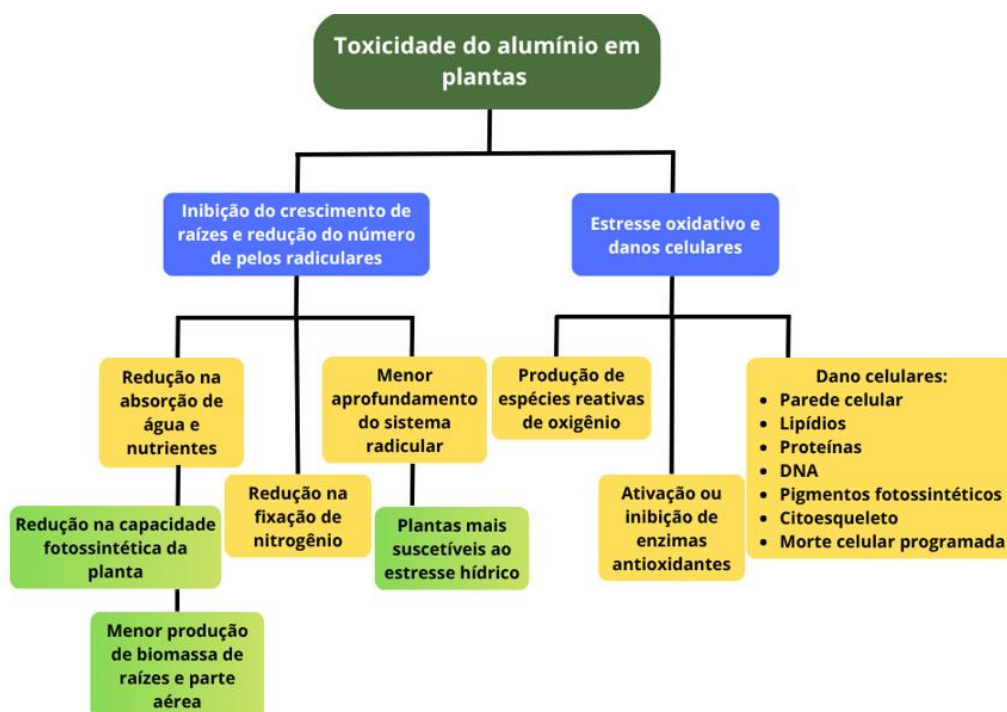
de tolerância ao Al tóxico do solo é um importante diferencial, mas que outras características também são importantes e estão em avaliação, o que pode fazer com que esses genótipos avancem ou não no processo de seleção.

É importante também destacar que a existência de seleções de porta-enxerto com tolerância ao Al tóxico do solo não elimina a necessidade de calagem, caso as análises químicas de solo em pré-plantio assim indicarem, pois, além de neutralizar o Al tóxico, o calcário também desempenha outras funções no solo. Entretanto, a tolerância ao Al é mais uma característica desejável em um bom porta-enxerto, especialmente em solos naturalmente ácidos, como os encontrados nas regiões sul e sudeste do Brasil, onde a persicultura é praticada. Do ponto de vista prático, um porta-enxerto clonal tolerante ao Al pode ser bastante interessante principalmente naquelas situações em que não é possível realizar a devida incorporação do calcário nas camadas mais profundas do solo, em função do relevo desfavorável, impedimentos físicos (pedras, solo raso, etc...) ou uso de trator e/ou implemento inapropriado. Também pode ser útil naquelas situações em que a correção da acidez pré-plantio foi feita com calcários do tipo “filler” (com alto PRNT), os quais apresentam rápida reatividade, porém menor período residual. No caso da reacidificação e aumento dos teores de Al nas camadas mais profundas do solo, um porta-enxerto tolerante pode permitir a continuidade do crescimento das raízes por maior período de tempo, o que é muito importante para a nutrição e hidratação das plantas.

#### **4. Impactos negativos do alumínio em plantas**

Os efeitos tóxicos do alumínio (Al) em plantas se manifestam, em geral, em solos com pH abaixo de 5,0 (Singh et al., 2017), sendo uma das principais ameaças ao crescimento das plantas em solos ácidos (Kochian et al., 2015). No entanto, os sintomas causados pelo Al nas plantas não são fáceis de identificar e não podem ser generalizados para todas as espécies vegetais. Os efeitos fitotóxicos do Al dependem em grande parte das condições de cultivo, da concentração de Al

e da duração da exposição, da espécie vegetal e da idade fisiológica (Aguilera et al., 2019; Ofoe et al., 2022). Em geral, a toxicidade do Al manifesta-se primeiramente no sistema radicular (Pokharel et al., 2024), uma vez que a raiz é o primeiro órgão com o qual o Al entra em contato, desencadeando uma série de sintomas fitotóxicos (Figura 4), incluindo inibição do crescimento das raízes, clorose nas folhas, redução da fotossíntese e da produção de biomassa, produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO), ativação e/ou inibição de enzimas antioxidantes e danos aos componentes celulares como lipídios, proteínas, DNA, pigmentos fotossintéticos, entre outros. Quando acumulado nos tecidos vegetais, o Al afeta também as funções biológicas e bioquímicas humanas através do consumo dessas culturas contaminadas (Ofoe et al., 2023; Munyaneza et al., 2024).



**Figura 4** - Impactos negativos do alumínio em plantas. Fonte: Os autores.

#### **4.1 – Inibição do crescimento de raízes**

O sintoma primário da toxicidade do Al é a rápida inibição do crescimento de raízes (minutos ou horas após a exposição ao Al, dependendo da espécie), a qual tem sido amplamente utilizada para determinar tolerância ou sensibilidade do Al em plantas (Awasthi et al., 2017). Nestas avaliações, é importante considerar o crescimento de todo o sistema radicular (raiz principal e raízes laterais de todas as ordens), e não somente o comprimento da raiz principal ou da maior raiz (Famoso et al., 2010). Algumas outras alterações morfológicas também estão associadas ao efeito do Al<sup>3+</sup> no ápice radicular, incluindo redução na formação de raízes laterais, perturbações nos tecidos periféricos, além do escurecimento e engrossamento (aumento no diâmetro das raízes) das mesmas, possivelmente pelo efeito do Al na divisão e alongação das células, o que resulta em organização celular anormal (Zhu et al., 2019). Essas raízes mais curtas e grossas são ineficientes na absorção de nutrientes e água, tornando a planta mais suscetível a várias formas de estresse, principalmente o estresse hídrico. O Al também inibe a formação de pelos radiculares (Marschner, 2012), ocasionando um efeito negativo não só na absorção de água e nutrientes, mas também na fixação biológica de nitrogênio (N), uma vez que a simbiose com bactérias fixadoras de N acontece principalmente através dos pelos radiculares (Marschner, 2012). As pesquisas indicam que o dano primário do Al é apoplástico, sendo a parede celular o principal local de acúmulo deste metal (Kopittke et al., 2015), principalmente nas extremidades das raízes, ocasionando a inibição do crescimento das mesmas.

A modificação da biossíntese e distribuição de fitormônios (etileno e auxina) é o segundo efeito que resulta em uma redução do crescimento radicular (Kopittke et al., 2015; Silva et al., 2019). Vários estudos demonstraram que o padrão celular da raiz é alterado quando as raízes das plantas são expostas ao estresse por Al, o que pode ser devido à inibição do transporte polar de auxina (Zhang et al., 2018).

Curiosamente, o efeito do Al na interação da auxina com outros fitormônios, como o etileno e a citocinina, também é evidente. Durante o estresse por Al, a concentração de etileno aumenta rapidamente no ápice da raiz, conforme relatado em várias espécies vegetais (Kopittke et al., 2015; Sun et al., 2010; Yu et al., 2016; Yang et al., 2017). Além disso, Yang et al. (2017) demonstraram o efeito sinérgico da auxina e da citocinina na mediação da inibição do crescimento radicular induzida por Al em *Arabidopsis*. No entanto, o papel da citocinina e sua interação com a auxina e o etileno durante condições de estresse por Al ainda não estão bem estabelecidos (Massot et al., 2002; Kopittke, 2016).

#### **4.2 Redução na absorção de água e nutrientes**

A inibição do crescimento e volume de raízes promovida pelo Al faz com que as mesmas apresentem uma menor capacidade de absorver água e nutrientes do solo, pois raízes menores conseguem explorar um volume menor do solo. Além disso, após o Al interagir com a parede celular, ele afeta as funções da membrana plasmática, interferindo na atividade dos canais e transportadores de íons, alterando a taxa geral de absorção de íons na raiz e perturbando a homeostase iônica celular (Bose et al., 2010), além de causar peroxidação de lipídios de membrana e oxidação de proteínas, regulando o fluxo de íons essenciais para processos fisiológicos na planta (Gupta et al., 2013). O Al também se liga às bicamadas fosfolipídicas carregadas negativamente da membrana plasmática, o que desestabiliza o potencial de membrana e inibe a atividade das H<sup>+</sup>-ATPases de membrana, afetando negativamente o transporte de nutrientes (Zhang et al., 2018). Estudos relatam o efeito negativo do Al na absorção de praticamente todos os macro e micronutrientes em várias espécies vegetais, tanto de interesse agrônomo, florestal, medicinal ou ecológico. Assim, uma nutrição mineral desequilibrada e distúrbios na homeostase iônica da planta são outro mecanismo pelo qual o crescimento e o metabolismo da planta são afetados em condições tóxicas de Al<sup>3+</sup>. Esses estudos indicam que a toxicidade do Al resulta em

desequilíbrio nutricional nas plantas, o que pode afetar o crescimento e a produtividade das culturas.

### **4.3 Redução na capacidade fotossintética das plantas**

Mesmo o Al sendo translocado muito lentamente para a parte aérea da planta (Ma et al., 1997), ele ocasiona uma redução na quantidade de pigmentos fotossintéticos, principalmente as clorofilas, e afeta negativamente parâmetros de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila *a* (Alves et al., 2025), incluindo taxa fotossintética líquida, concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, taxa de transpiração, rendimento quântico máximo do FSII e taxa de transporte de elétrons (Guo et al., 2018; Siqueira et al., 2022). Esses danos no aparato fotossintético nem sempre são devido ao efeito direto do Al, mas sim, em geral, devido a menor absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular, os quais são necessários para o metabolismo fotossintético, resultando em menor produção de biomassa.

### **4.4 Estresse oxidativo e danos celulares**

Plantas expostas ao Al apresentam uma rápida produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO), incluindo ânion superóxido (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>), peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e radicais hidroxila (OH<sup>•</sup>) (Furlan et al., 2018), as quais são radicais livres altamente reativas, que reagem com ácidos nucleicos, proteínas e lipídios, o que induz estresse oxidativo nas plantas e danos irreversíveis às estruturas celulares. O estresse oxidativo promovido pelo Al, em geral, desencadeia dano a componentes celulares como proteínas, lipídios, ácidos nucleicos e pigmentos fotossintéticos (Guo et al., 2018; Yamamoto, 2019).

Além de estimular a produção de ERO, as quais causam danos oxidativos, o Al entra nas células e danifica organelas, intensificando os danos celulares, incluindo peroxidação lipídica, um dos primeiros e mais notável sintoma de toxicidade do Al. O estresse por Al também pode ocasionar dano no DNA e nos

cromossomos, interferindo na divisão celular e induzindo aberrações cromossômicas (Zhang et al., 2018), as quais podem ser irreversíveis, resultando em morte celular programada (Singh et al., 2017; Yamamoto, 2019; Ofoe et al., 2022).

A capacidade de aumentar a atividade do sistema antioxidante para limitar os danos celulares pode ser um atributo importante relacionado à tolerância ao Al (Li et al., 2020). Estudos com expressão gênica também relataram a indução de genes relacionados a enzimas antioxidantes, como peroxidases (POX), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), glutathione-S-transferase (GSTs), entre outras (Singh et al., 2017; Li et al., 2020). Já em genótipos sensíveis, pode-se observar tanto uma inibição quanto uma ativação de enzimas antioxidantes quando os mesmos são expostos ao Al (Aguilar et al., 2024; Long et al., 2024; Strauss et al., 2024), dependendo da espécie, da concentração de Al utilizada, do tempo de exposição aos tratamentos, do órgão vegetal (raiz ou parte aérea) e da variabilidade genética dentro de cada espécie.

## **5. Estratégias de tolerância ao alumínio em pessegueiros**

A elevada disponibilidade de Al na forma  $Al^{3+}$  em solos ácidos constitui um dos principais fatores químicos limitantes ao crescimento radicular e ao desempenho fisiológico de plantas cultivadas nesses ambientes. Conforme discutido nos tópicos anteriores, a predominância dessa espécie de Al está diretamente associada à acidez do solo e resulta em rápida inibição da elongação radicular, alterações na integridade das membranas celulares, distúrbios na absorção de nutrientes e intensificação do estresse oxidativo. Em pessegueiros, a tolerância ao Al deve ser compreendida como um conjunto de respostas integradas que permitem reduzir a entrada do  $Al^{3+}$ , limitar sua atividade citotóxica e mitigar os efeitos fisiológicos associados à sua presença contínua no sistema radicular.

De forma geral, a tolerância ao Al em plantas resulta da combinação de mecanismos que atuam externamente, na rizosfera, e internamente, após a

absorção do Al pelas raízes. Na rizosfera, as plantas podem reduzir a atividade química do  $Al^{3+}$  por meio da exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como malato, citrato e oxalato, que formam complexos estáveis com o Al e diminuem sua reatividade (Kochian et al., 2015; Singh et al., 2017; Yan et al., 2022). Esse processo reduz a fração de  $Al^{3+}$  livre na solução do solo e limita sua interação com a superfície radicular, representando uma das estratégias mais eficientes de exclusão externa descritas para plantas tolerantes ao Al. Evidências recentes indicam que esse tipo de resposta também ocorre em espécies lenhosas e frutíferas, incluindo representantes do gênero *Prunus*, embora com intensidade variável entre genótipos e porta-enxertos (Silva et al., 2023).

Além da complexação direta do Al, pequenas alterações localizadas no pH da rizosfera podem contribuir para a redução de sua toxicidade. A absorção diferencial de íons pelas raízes pode promover microzonas de pH ligeiramente mais elevado junto à superfície radicular, favorecendo a conversão parcial do  $Al^{3+}$  em espécies hidroxiladas menos reativas, conforme discutido no Tópico 2. Esses mecanismos de exclusão externa são particularmente relevantes em sistemas perenes, nos quais a correção da acidez do solo é frequentemente limitada às camadas superficiais.

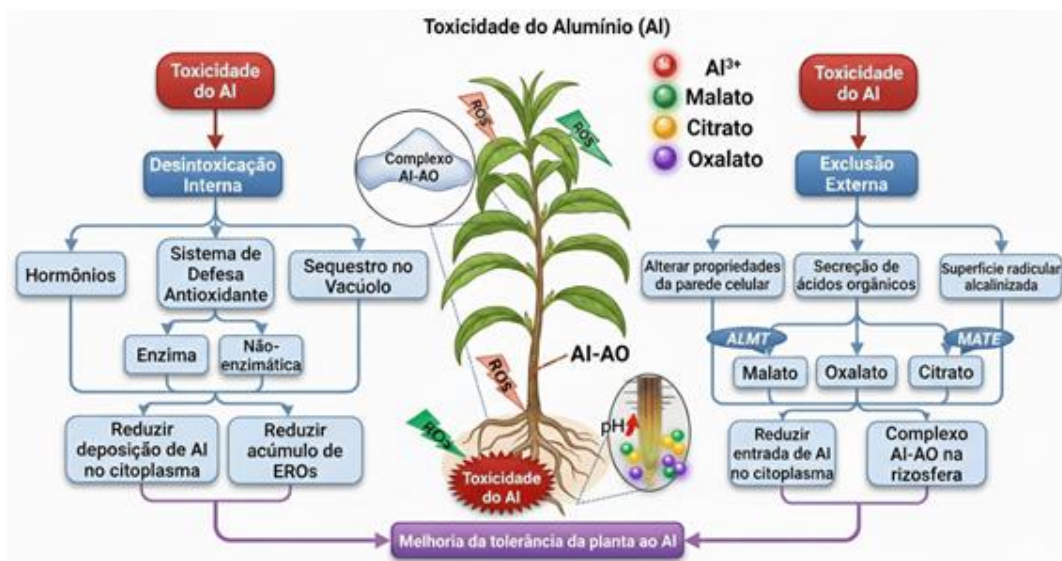
Apesar da atuação desses mecanismos na rizosfera, parte do Al pode atingir os tecidos radiculares. Nessa situação, entram em ação os mecanismos de detoxificação interna, responsáveis por restringir a mobilidade e a atividade do Al no interior das células. Um dos principais processos envolvidos é a imobilização do Al na parede celular, especialmente por meio da ligação a pectinas ricas em grupos carboxílicos, o que reduz a quantidade de Al livre no citoplasma e limita sua interferência em processos celulares sensíveis, como a divisão e a alongação celular (Yan et al., 2022).

O Al que ultrapassa a parede celular pode ser sequestrado em compartimentos subcelulares, principalmente no vacúolo, frequentemente na forma de complexos com ácidos orgânicos ou outros ligantes intracelulares. A

compartimentalização vacuolar reduz a concentração de  $Al^{3+}$  livre no citosol e protege estruturas essenciais, como o núcleo e os sistemas enzimáticos, contribuindo para a manutenção do metabolismo celular mesmo sob elevada disponibilidade de Al (Kochian et al., 2015).

A presença de  $Al^{3+}$  nos tecidos radiculares também está associada à indução de estresse oxidativo, decorrente do aumento na produção de ERO. Plantas tolerantes apresentam maior eficiência dos sistemas antioxidantes, envolvendo enzimas como superóxido dismutase, catalase e peroxidases, bem como mecanismos não enzimáticos de defesa, que atuam na neutralização dessas espécies reativas e na preservação da integridade das membranas celulares (Singh et al., 2017; Yan et al., 2022). Essa resposta antioxidante é fundamental para a manutenção da funcionalidade fisiológica das raízes e para a continuidade do crescimento em solos ácidos.

A integração desses mecanismos de exclusão externa e detoxificação interna está representada esquematicamente na Figura 5, que sintetiza as principais vias de tolerância ao Al em plantas, desde a rizosfera até o interior das células radiculares. O esquema evidencia que a tolerância ao Al não depende de um único processo isolado, mas do funcionamento coordenado de múltiplas estratégias fisiológicas e bioquímicas que reduzem a entrada do  $Al^{3+}$  no citoplasma, promovem sua complexação e compartimentalização e mitigam os efeitos do estresse oxidativo.



**Figura 5.** Esquema dos principais mecanismos de tolerância e detoxificação ao alumínio ( $Al^{3+}$ ) em plantas, incluindo estratégias de exclusão externa na rizosfera e mecanismos internos de imobilização, compartimentalização e defesa antioxidante que reduzem a toxicidade do Al em solos “ácidos”. Fonte: (adaptado de Yan et al., 2022).

Essas respostas integradas refletem-se diretamente na capacidade das plantas de manter o crescimento e a arquitetura do sistema radicular. Em pessegueiros tolerantes ao Al, observa-se menor redução no comprimento e na ramificação das raízes, maior estabilidade do sistema radicular e maior eficiência na absorção de água e nutrientes, características particularmente relevantes em culturas perenes. Do ponto de vista agrônômico, a tolerância ao Al não substitui as práticas de manejo da acidez do solo, como a calagem, mas representa uma estratégia complementar importante, especialmente em situações em que a correção do pH é parcial ou inviável em camadas subsuperficiais. A utilização de porta-enxertos com maior capacidade de tolerância ao Al amplia a adaptação da cultura do pessegueiro a ambientes edáficos restritivos e contribui para a sustentabilidade dos sistemas de produção.

## **6. Desafios da integração da tolerância ao alumínio em pessegueiros com características agronômicas de interesse comercial**

A toxicidade causada pelo alumínio (Al) em solos ácidos é considerada um dos principais fatores que limitam à produtividade de frutíferas nas regiões tropicais e subtropicais, onde comumente predominam solos ácidos e com alta saturação por  $Al^{3+}$  (Munyanza et al., 2024). Para a cultura do pessegueiro (*Prunus persica*), que é amplamente cultivada em solos ácidos, a toxicidade por Al pode comprometer severamente o desenvolvimento do sistema radicular, o que afeta a absorção de água e nutrientes, a longevidade dos pomares, bem como a produtividade à longo prazo (Nava et al., 2022). Dessa forma, a integração da tolerância ao Al com outras características agronômicas de interesse comercial, como produtividade, vigor, qualidade dos frutos e compatibilidade com cultivares-copa, representa um grande desafio nos programas de melhoramento genético (Mauro et al., 2022; Reig et al., 2022).

Assim, a introdução da tolerância ao Al em programas de melhoramento de porta-enxertos de pessegueiro depende da identificação de genótipos que tenham capacidade de manter a integridade de raízes mesmo em solos com baixo pH e alta concentração de  $Al^{3+}$  (Aguilar et al., 2023), já que o Al pode afetar a mitose, interferir na elongação celular, e induzir severo estresse oxidativo no sistema radicular, com consequente inibição do crescimento das raízes (Hajiboland et al., 2023). Aguilar et al. (2024) verificaram que porta-enxertos como ‘Capdeboscq’, DB-SEN-09-23 e VEH-GRA-09-55 apresentam elevada tolerância ao Al, mantendo a integridade fisiológica mesmo sob condições de estresse. Estes genótipos supracitados apresentaram capacidade de sustentar trocas gasosas e a atividade de enzimas antioxidantes, o que indica mecanismos eficientes na defesa e adaptação mediante à toxicidade do  $Al^{3+}$ . Entretanto, a integração da tolerância ao Al em programas de melhoramento precisa ocorrer de forma equilibrada, de modo assegurar que a mesma seja acompanhada da manutenção e/ou aprimoramento de

variáveis agronômicas indispensáveis, como a eficiência no uso de nutrientes (Rasheed et al., 2023).

Aguilar et al. (2025, no prelo) observaram que porta-enxerto como ‘Rigitano’, apesar de apresentar taxa de influxo de nutrientes elevada, demonstrou baixa eficiência no uso de fósforo e potássio, o que resultou em menor acúmulo de matéria seca e menor taxa fotossintética. Isso indica que a tolerância isolada à estresses abióticos, como a deficiência nutricional ou estresse provocado pelo Al, por si só não garante o desempenho agronômico adequado. Portanto, a capacidade de manter eficiência na absorção e no uso dos nutrientes, aliada à sustentação da atividade fotossintética sob estresse por Al, configura um componente-chave que deve ser integrado aos programas de melhoramento de porta-enxertos (Lu et al., 2025).

Porém, um dos principais obstáculos da integração da tolerância ao Al com características agronômicas desejáveis está no fato de que muitos dos mecanismos de tolerância envolvem modificações metabólicas e fisiológicas, que podem comprometer o crescimento dos genótipos em condições de estresse. Espécies vegetais que exsudam grandes quantidades de ácidos orgânicos para complexar o Al, podem, por exemplo, direcionar carbono para funções de defesa em detrimento da formação de frutos e do crescimento vegetativo (Panchal et al., 2021). Além disso, a ativação de enzimas antioxidantes como superóxido dismutase e peroxidases, envolvidas na neutralização de ERO mediante a presença do Al, pode representar um custo energético elevado para a planta (Ranjan et al., 2021).

Com isso, a seleção dos porta-enxertos como RB-MAC-12-08, que apresentou alta eficiência tanto na absorção quanto no uso de P e K, maior matéria seca e taxa fotossintética mesmo em ambientes com pH ácido e presença de Al tóxico, mostra que é possível selecionar genótipos com múltiplas características desejáveis (Aguilar et al., 2025 no prelo). No entanto, a introdução concomitante de genes relacionados à tolerância ao Al e à eficiência nutricional requer abordagens criteriosas, que considerem os efeitos pleiotrópicos e epistáticos que

podem emergir dessas interações genéticas (Chakraborty et al., 2024). Essa complexidade dos efeitos pleiotrópicos e epistáticos associados aos genes envolvidos podem resultar em respostas contrastantes quando combinados em novos materiais genéticos (Magalhães et al., 2018). Assim, torna-se essencial avançar para estratégias que permitam identificar e selecionar, com maior precisão, as bases genéticas responsáveis por essa eficiência integrada.

A integração de tolerância ao Al com outras variáveis exige ainda mapeamento genético mais robusto, como a identificação de marcadores moleculares (QTLs) e genes de interesse, e adoção de ferramentas como a genômica, transcriptômica e a edição gênica, a fim de permitir a combinação de múltiplas características em um único material genético (Zhou et al., 2022). Com isso, será possível desenvolver porta-enxertos que não apenas sobrevivam em solos ácidos com alta quantidade de Al, mas que também promovam o incremento em produtividade e o uso mais eficiente dos recursos nos sistemas de produção de pessegueiro, contribuindo com a sustentabilidade nos pomares.

## **7. Considerações finais**

A tolerância ao alumínio em pessegueiros constitui um fator-chave para a sustentabilidade da cultura em solos ácidos, nos quais a elevada disponibilidade deste metal limita o crescimento radicular, a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade e a longevidade dos pomares. Ao longo deste capítulo, evidenciou-se que a escolha criteriosa de porta-enxertos tolerantes, associada à qualidade das mudas, aos métodos de propagação e aos sistemas de produção em viveiro, é importante para o sucesso da implantação dos pomares, devendo ser considerado como um investimento estratégico. Junto a isto, a compreensão dos processos de acidificação do solo e da dinâmica do Al na solução do solo permite explicar os impactos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos do Al nas plantas, incluindo alterações no crescimento radicular, desequilíbrios nutricionais, redução da fotossíntese e indução de estresse oxidativo.

Nesse contexto, o uso de porta-enxertos tolerantes ao Al destaca-se como uma estratégia não substituta da calagem, mas complementar ao manejo químico da acidez do solo, especialmente em situações em que a correção do perfil não é plenamente viável ou limitada às camadas superficiais. Avanços recentes em programas de melhoramento genético de *Prunus* spp. demonstram a existência de variabilidade genética para tolerância ao Al, abrindo perspectivas para a seleção de materiais mais adaptados às condições edáficas adversas. Entretanto, a incorporação dessa característica em sistemas produtivos exige sua integração com atributos agronômicos de interesse comercial, como compatibilidade de enxertia, controle de vigor, produtividade, qualidade de frutos e viabilidade econômica, reforçando a necessidade de abordagens multidisciplinares para o desenvolvimento de pomares mais resilientes e eficientes.

## Referências Bibliográficas

- AGUILAR, M.V.M.; BUENO, J.M.M.; MAYER, N.A.; NAVA, G.; BRUNETTO, G.; TABALDI, L.A. Tolerance of cultivars and clonal selections of peach rootstocks to excess aluminum. **Semina: Ciências Agrárias**, 44(3), 1127-1144, 2023.
- AGUILAR, M.V.M.; PEIXOTO, T.W.; KUINCHTNER, C.C.; WERTONGE, G.S.; KULMANN, M.S.S.; MAYER, N.A.; BRUNETTO, G.; TABALDI, L.A. *Prunus* spp. rootstocks more efficient in absorbing phosphorus and potassium. **Journal of Plant Nutrition**, 2025.
- AGUILAR, M.V.M.; WERTONGE, G.S.; BIRCK, T.P.; LOVATO, L.R.; ROSA, F.C.R.; HINDERSMANN, J.; MAYER, N.A.; BUENO, J.M.M.; BRUNETTO, G.; TABALDI, L.A. Oxidative stress as markers in identification of aluminum-tolerant peach tree rootstock cultivars and clonal selections. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 48, e0220112, 2024.
- AGUILERA, J. G.; TEODORO, P. E.; DA SILVA, J. P.; PEREIRA, J. F.; ZUFFO, A. M.; CONSOLI, L. Selection of aluminum-resistant wheat genotypes using multienvironment and multivariate indices. **Agron. Journal**, 111, 2804–2810, 2019.
- ALVES, J.S.; MENGUER, P.K.; LIMA-MELO, Y.; FIORENTINI, V.H.R.; PONTE, L.R.; OLSSON, R.V.; SASSO, V.M.; DE PALMA, N.; TABALDI, L.A.; BRUNETTO, G.; GIEHL, R.F.H.; MARGIS-PINHEIRO, M.; RICACHENEVSKY, F.K. Aluminum alleviates iron deficiency chlorosis by interfering with phosphorus homeostasis in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, 220, 109427, 2025.
- AWASTHI, J. P.; SAHA, B.; REGON, P.; SAHOO, S.; CHOWRA, U.; PRADHAN, A. Morphophysiological analysis of tolerance to aluminum toxicity in rice varieties of north East India. **PLoS One**, 12, e0176357–e0176357, 2017. doi: 10.1371/journal.pone.0176357
- BECKMAN, T.G.; CHAPARRO, J.X.; SHERMAN, W.B. ‘MP-29’, a clonal interspecific hybrid rootstock for peach. **HortScience**, 47 (1), 128-131, 2012.

- BECKMAN, T.G.; CHAPARRO, J.X.; SHERMAN, W.R. ‘Sharpe’, a clonal plum rootstock for peach. *HortScience*, v.43, n.7, p.2236-2237, 2008.
- BOSE, J.; BABOURINA, O.; SHABALA, S.; RENGEL, Z. Aluminum-dependent dynamics of ion transport in Arabidopsis: specificity of low pH and aluminum responses. *Physiologia Plantarum*, 139, 401–412, 2010. doi: 10.1111/j.1399-3054.2010.01377.x
- BRITTAIN, J.A.; MILLER Jr., R.W. **Managing peach tree short life in the Southeast**. Clemson:Agricultural Extension Services of Georgia, 1978. 19p. (Circular, 585).
- CAMPA, M.; MIRANDA, S.; LICCIARDELLO, C.; LASHBROOKE, J.G.; DALLA COSTA, L.; GUAN, Q.; SPÖK, A.; MALNOY, M. Application of new breeding techniques in fruit trees. *Plant Physiology*, 194(3), 1304-1322, 2024.
- CAMPOS, A.D. A morte precoce do pessegueiro: aspectos fisiológicos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 14(1), 227-229, 1992.
- CARNEIRO, R.M.D.G.; CAMPOS, A.D.; PEREIRA, J.F.M.; RASEIRA, M.C.B. Avaliação de porta-enxertos de *Prunus* quanto à suscetibilidade ao nematóide anelado e ao conteúdo de enzimas fenol oxidases. *Nematologia Brasileira*, 22(1), 32-38, 1998.
- CARNEIRO, R.M.D.G.; FORTES, J.F.; ALMEIDA, M.R.A. Associação de *Criconebella xenoplax* com a morte do pessegueiro no Rio Grande do Sul. *Nematologia Brasileira*, 17(2), 122-131, 1993.
- CHAKRABORTY, N.; DAS, A.; PAL, S.; ROY, S.; SIL, S. K.; ADAK, M. K.; HASANUZZAMAN, M. Exploring aluminum tolerance mechanisms in plants with reference to rice and Arabidopsis: A comprehensive review of genetic, metabolic, and physiological adaptations in acidic soils. *Plants*, 13(13), 1760, 2024.
- CHIBILITI, G.B.; BYRNE, D.H. Relative aluminum tolerance of *Prunus* rootstocks. *HortScience*, 24(4), 657-658, 1989.
- EDWARDS, J.H.; HORTON, B.D.; KIRKPATRICK, H.C. Aluminum toxicity symptoms in peach seedlings. *Journal American Horticultural Science*, 101(2), 139-142, 1976.
- FAGERIA, N.K.; NASCENTE, A.S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *Advances in Agronomy*, 128, 221-275, 2014.
- FAMOSO, A.N.; CLARK, R.T.; SHAFF, J.E.; CRAFT, E.; MCCOUCH, S.R.; KOCHIAN, L.V. Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. *Plant Physiology*, 153(4), 1678-1691, 2010. [http://dx.doi.org/ 10. 1104/ pp. 110. 156794](http://dx.doi.org/10.1104/pp.110.156794).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision – WAT 2030/50**. FAO, pp. 1–12, 88–99, 2012.
- FRÓNA, D.;SZENDERÁK, J.; HARANGI-RÁKOS, M. The challenge of feeding the world. *Sustainability*, 11, 5816, 2019. doi:10.3390/su11205816
- FURLAN, F.; BORGIO, L.; RABELO, F. H. S.; ROSSI, M. L.; MARTINELLI, A. P.; AZEVEDO, R. A. Aluminum-induced stress differently modifies urochloa genotypes responses on growth and regrowth: root-to-shoot Al-translocation and oxidative stress. *Theor. Exp. Plant Physiol.*, 30, 141–152, 2018. doi: 10.1007/s40626-018-0109-2
- GAINZA, F.; OPAZO, I.; GUAJARDO, V.; MEZA, P.; ORTIZ, M., PINOCHET, J.; MUÑOZ, C. Rootstock breeding in *Prunus* species: Ongoing efforts and new challenges. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75, 6-16, 2015. doi:10.4067/S0718-58392015000300002

- GUO, P.; QI, Y. P.; CAI, Y. T.; YANG, T. Y.; YANG, L. T.; HUANG, Z. R. Aluminum effects on photosynthesis, reactive oxygen species and methylglyoxal detoxification in two citrus species differing in aluminum tolerance. **Tree Physiol.**, 38, 1548–1565, 2018. doi: 10.1093/treephys/tpy035
- GUPTA, N.; GAURAV, S. S.; KUMAR, A. Molecular basis of aluminium toxicity in plants: a review. **American Journal of Plant Sciences**, 21–37, 2013. doi: 10.4236/ajps.2013.412A3004
- HAJIBOLAND, R.; PANDA, C. K.; LASTOCHKINA, O.; GAVASSI, M. A.; HABERMANN, G.; PEREIRA, J. F. Aluminum toxicity in plants: Present and future. **Journal of Plant Growth Regulation**, 42(7), 3967–3999, 2023.
- HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES JR., F.T., GENEVE, R.L. **Plant propagation: principles and practices**. 7.ed. New Jersey. Prentice-Hall. 2002. 880p.
- HUANG, J.; WANG, T.; XIN, C.; WU, D.; WANG, J.; GE, Z.; LOU, X. Orchard soil health: current challenges and future perspectives. **Horticulturae**, 11, 1206, 2025.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Produção agropecuária de pêssego no Rio Grande do Sul**. IBGE, 2024. Acesso em: 20 jan. 2026. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pessego/rs>.
- JONES, T.L.; JONES, U.S. Influence of soil pH, aluminum and sulfur on short life of peaches trees growing on loamy sands in Southeastern United States. **Florida State Horticultural Society**, 87, 367-371, 1974.
- KOCHIAN, L.V.; PIÑEROS, M.A.; LIU, J.; MAGALHÃES, J.V. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. **Annual Review of Plant Biology**, 66, 571–598, 2015. doi: 10.1146/annurev-arplant-043014-114822
- KOCJAN, A.; KWASNIEWSKA, J.; SZURMAN-ZUBRZYCKA, M. Understanding plant tolerance to aluminum: exploring mechanisms and perspectives. **Plant Soil**, 507, 195-219, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06745-0>
- KONGSRI, S.; BOONPRAKOB, U.; BYRNE, D. Assessment of morphological and physiological responses of peach rootstocks under drought and aluminum stress. **Acta Horticulturae**, 1059, 229-236, 2014.
- KOPITTKE, P. M.; MOORE, K. L.; LOMBI, E.; GIANONCELLI, A.; FERGUSON, B. J.; BLAMEY, F. P. C. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots. **Plant Physiology**, 167, 1402–1411, 2015. doi: 10.1104/pp.114.253229
- KOPITTKE, P.M. Role of phytohormones in aluminium rhizotoxicity. **Plant, Cell and Environment**, 39, 2319–2328, 2016.
- LI, C.X.; YAN, J.Y.; REN, J.Y. A WRKY transcription factor confers aluminum tolerance via regulation of cell wall modifying genes. **Journal of Integrative Plant Biology**, 62, 1176–1192, 2020.
- LONG, S.; XIE, W.; ZHAO, W.; LIU, D.; WANG, P.; ZHAO, L. Effects of acid and aluminum stress on seed germination and physiological characteristics of seedling growth in *Sophora davidii*. **Plant Signaling & Behavior**, 19(1), 2328891, 2024. doi: 10.1080/15592324.2024.2328891.
- LÓPEZ-URREA, R.; OLIVEIRA, C.M.; MONTOYA, F.; PAREDES, P.; PEREIRA, L.S. Single and basal crop coefficients for temperate climate fruit trees, vines and shrubs: a review for updating FAO56 approach. **Irrigation Science**, 2, 1099–1135, 2024.
- LU, Z.; REN, T.; LI, Y.; CAKMAK, I.; LU, J. Nutrient limitations on photosynthesis: from individual to combinational stresses. **Trends in Plant Science**, 2025.

LUNA-GUERRERO, A.Y.; MONTES-BELMONT, R.; TALAVERA-RUBIA, M.F.; FLORES-MOCTEZUMA, H.E.; BRAVO-LUNA, L. Estudio preliminar de los factores bióticos e abióticos asociados a la muerte del duraznero en Morelos, México. **Nematopica**, 41(2), 254-262, 2011.

MA, J. F.; HIRADATE, S.; NOMOTO, K.; IWASHITA, T.; MATSUMOTO, H. Internal detoxification mechanism of Al in hydrangea (identification of Al form in the leaves). **Plant Physiology**, 113, 1033–1039, 1997. doi: 10.1104/pp.113.4.1033

MAGALHAES, J. V.; PIÑEROS, M. A.; MACIEL, L. S.; KOCHIAN, L. V. Emerging pleiotropic mechanisms underlying aluminum resistance and phosphorus acquisition on acidic soils. **Frontiers in Plant Science**, 9, 1420, 2018.

MARAFON, A.C.; HERTER, F.G.; BACARIN, M.A.; HAWERROTH, F.J. Atividade da peroxidase durante o período hibernar de plantas de pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsch.) cv. Jubileu com e sem sintomas da morte precoce. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 31(4), 938-942, 2009.

MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London, UK: Academic Press, 2012. 672 p.

MASSOT, N.; NICANDER, B.; BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C.; TILLBERG, E.E. A rapid increase in cytokinin levels and enhanced ethylene evolution precede Al<sup>3+</sup>-induced inhibition of root growth in bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Growth Regulators**, 37, 105–112, 2002.

MAURO, R.P.; PÉREZ-ALFOCEA, F.; COOKSON, S.J.; OLLAT, N.; VITALE, A. Physiological and molecular aspects of plant rootstock-scion interactions. **Frontiers in Plant Science**, 13, 852518, 2022.

MAYER, N. A.; UENO, B. Sete ciclos de seleção clonal de porta-enxertos potencialmente tolerantes à morte-precoce do pessegueiro. In: VI Encuentro Latinoamericano Prunus Sin Fronteras, 2015, Pelotas. VI Encuentro Latinoamericano Prunus Sin Fronteras. **Anais.. Pelotas-RS: Embrapa Clima Temperado**, 2015, v.1, p.133-136.

MAYER, N.A.; UENO, B. **A morte-precoce do pessegueiro e suas relações com porta-enxertos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 42p. (Documentos, 359).

MAYER, N.A.; BIANCHI, V.J.; CASTRO, L.A.S. Porta-enxertos. In: RASEIRA, M.C.B., PEREIRA, J.F.M., CARVALHO, F.L.C. **Pessegueiro**. Brasília: Embrapa, 173-223, 2014.

MAYER, N.A.; UENO, B. A morte-precoce do pessegueiro no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Agrociencia Uruguay**, 25, NE1, artigo 395, 2021.

MAYER, N.A.; UENO, B.; ANTUNES, L.E.C. **Seleção e clonagem de porta-enxertos tolerantes à morte-precoce do pessegueiro**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 13p. (Comunicado Técnico, 209).

MAYER, N.A.; UENO, B.; RICKES, T.B.; RESENDE, M.V.L.A. Cloning of rootstock selections and *Prunus* spp. cultivars by softwood cuttings. **Scientia Horticulturae**, 273, article 109609, 2020.

MELNYK, C.W.; MEYEROWITZ, E.M. Plant grafting. **Current Biology**, 25(5), 183-188, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.01.029>.

MUDGE, K.; JANICK, J.; SCOFIELD, S.; GOLDSCHMIDT, E.E. **A history of grafting**. In: JANICK, J. Horticultural reviews. Hoboken: John Wiley & Sons., 35, 437-493, 2009.

MUNYANEZA, V.; ZHANG, W.; HAIDER, S.; XU, F.; WANG, C.; DING, G. Strategies for alleviating aluminum toxicity in soils and plants. **Plant Soil**, 504, 167–190, 2024.

- NATALE, W.; ROZANE, D.E.; PARENT, L.E.; PARENT, S.-É. Soil acidity and liming in tropical fruit orchards. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 34, 1294–1306, 2012.
- NAVA, G.; REISSER JÚNIOR, C.; PARENT, L.É.; BRUNETTO, G.; MOURA-BUENO, J.M.; NAVROSKI, R.; BARRETO, C.F. Esmeralda peach (*Prunus persica*) fruit yield and quality response to nitrogen fertilization. **Plants**, 11(3), 352, 2022.
- NICOLAO, G.; MAYER, N.A.; MUNHOZ, P. O.; UENO, B. Enraizamento adventício em estacas herbáceas de *Prunus* spp. **Agropecuária Técnica**, 42(1-4), 24-33, 2021. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v42i1-4.56104>.
- NICOLAO, G.; MAYER, N.A.; UENO, B.; BIANCHI, V.J. Morphological traits of 'Granada' peach nursery trees from rootstocks of two production systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 58, e03225, 2023. doi: 10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03225
- OFOE, R.; GUNUPURU, L.R.; WANG-PRUSKI, G.; FOFANA, B.; THOMAS, R.H.; ABBEY, L.J.P.S. Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress, and promotes tomato seed germination and seedling growth. **Plant Stress**, 4, 100083, 2022. doi: 10.1016/j.stress.2022.100083
- OFOE, R.; THOMAS, R.H.; ASIEDU, S.K.; WANG-PRUSKI, G.; FOFANA, B.; ABBEY, L. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, 13:1085998, 2023. doi: 10.3389/fpls.2022.1085998
- OKIE, W.R.; BECKMAN, T.G.; NYCZEPIR, A.P.; REIGHARD, G.L.; NEWALL, W.C.; ZEHR, E.I. BY520-9, A peach rootstock for the Southeastern United States that increases scion longevity. **HortScience**, 29(6), 705-706, 1994.
- PANCHAL, P.; MILLER, A. J.; GIRI, J. Organic acids: versatile stress-response roles in plants. **Journal of Experimental Botany**, 72(11), 4038-4052, 2021.
- PANDA, S.K.; BALUŠKA, F.; MATSUMOTO, H. Aluminum stress signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, 4, 592–597, 2009. doi:10.4161/psb.4.7.8903
- PEREIRA, F.M.; MAYER, N.A. **Pessegueiro: tecnologias para a produção de mudas**. Jaboticabal: Funep, 65p. 2005.
- PÉREZ-ALFOCEA, F. Why should we investigate vegetable grafting? **Acta Horticulturae**, 1086, 21-30, 2015.
- PETRY, H.B. Brazilian fruit farming stands out as a strategic activity for the country's economy, food security and sustainable development. **Fruit Crops Science Journal**, 1, e-001, 2025.
- PETRY, H.B.; MAZURANA, M.; MARODIN, G.A.B.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C.; SCHWARZ, S.F. Root distribution of peach rootstocks affected by soil compaction and acidity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40, e0150135, 2016. doi: 10.1590/18069657rbcsc20150135
- POKHAREL, B.R.; SHERI, V.; KUMAR, M.; ZHANG, Z.; ZHANG, B. The update and transport of aluminum nanoparticles in plants and their biochemical and molecular phototoxicity on plant growth and development: A systematic review. **Environmental Pollution**, 340, 122875, 2024.
- RAHMAN, M.A.; LEE, S.-H.; JI, H.C.; KABIR, A.H.; JONES, C.S.; LEE, K.-W. Importance of mineral nutrition for alleviating aluminum toxicity in plants grown in acidic soils: current status and opportunities. **International Journal of Molecular Sciences**, 19, 3073, 2018.
- RANJAN, A.; SINHA, R.; SHARMA, T.R.; PATTANAYAK, A.; SINGH, A.K. Alleviating aluminum toxicity in plants: Implications of reactive oxygen species signaling and crosstalk with other signaling pathways. **Physiologia Plantarum**, 173(4), 1765-1784, 2021.

- RASHEED, A.; KHAN, A.A.; NAWAZ, M.; MAHMOOD, A.; ARIF, U.; HASSAN, M.U.; FAHAD, S. Development of aluminium (Al)-tolerant soybean using molecular tools: limitations and future directions. **Journal of Plant Growth Regulation**, 42(12), 7403-7417, 2023.
- REIG, G.; IGLESIAS, I.; ZAZURCA, L.; TORGUET, L.; MARTINEZ, G.; MIARNAU, X. Physiological and agronomical responses of 'Vairo' almond and 'Big Top' nectarine cultivars grafted onto different prunus rootstocks and grown under semiarid Mediterranean conditions. **Agronomy**, 12(4), 821, 2022.
- REIGHARD, G.L.; LORETI, F. Rootstock development. In: LAYNE, D.R., BASSI, D. **The peach: botany, production and uses**. CABI Head Office, Oxfordshire; CABI North American Office, Cambridge. p.193-220, 2008.
- REILLY, C.C.; NYCZEPIR, A.P.; SHARPE, R.R.; OKIE, W.R.; PUSEY, P.L. Short life of Peach Trees as related to tree physiology, environment, pathogens, and cultural practices. **Plant Disease**, 70(6), 538-541, 1986.
- RITCHIE, D.F.; CLAYTON, C.N. Peach Tree Short Life: a complex of interacting factors. **Plant Disease**, 65(6), 462-469, 1981.
- ŞAHİN, M.; PIRLAK, L.; EŞİTKEN, A.; BEKTAŞ, H.; DEVECİ, F.N. Toxicity of some aluminum doses on CAB-6P (*Prunus cerasus* L.) clonal rootstock. Proceedings of the IX International Agricultural Symposium "Agrosym 2018", **Anais...**, 527-536, 2018.
- SILVA, C.S.M.; CAVALHEIRO, M.F.; BRESSAN, A.C.G.; CARVALHO, B.M.O.; BANHOS, O.F.A.A.; PURGATTO, E.; HARAKAVA, R.; TANAKA, F.A.O.; HABERMANN, G. Aluminum-induced high IAA concentration may explain the Al susceptibility in *Citrus limonia*. **Plant Growth Regulation**, 87, 123–137, 2019.
- SILVA, G.S.; GAVASSI, M.A.; CARBALHO, B.M.O.; HABERMANN, G. High abscisic acid and low root hydraulic conductivity may explain low leaf hydration in 'Mandarin' lime exposed to aluminum. **Tree Physiology**, 43, 404–417, 2023.
- SINGH, S.; TRIPATHI, D. K.; SINGH, S.; SHARMA, S.; DUBEY, N. K.; CHAUHAN, D. K. Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: a review. **Environmental and Experimental Botany**, 137, 177–193, 2017. doi: 10.1016/j.envexpbot.2017.01.005
- SIQUEIRA, J.A.; SILVA, M.F.; WAKIN, T. Metabolic and DNA checkpoints for the enhancement of Al tolerance. **Journal of Hazardous Materials**, 430, 128366, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128366>
- STRAUSS, R.Q.S.; AGUILAR, M.V.M.; VALSOLER, D.V.; AZEVEDO, T.D.; TABALDI, L.A. Do silicon and selenium mitigate aluminum toxicity in *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen? **Ciência e Natura**, 46, e85995, 2024. doi: 10.5902/2179460X85995
- SUN, P.; TIAN, Q.Y.; CHEN, J.; ZHANG, W.H. Aluminium-induced inhibition of root elongation in Arabidopsis is mediated by ethylene and auxin. **Journal of Experimental Botany**, 61, 347–356, 2010.
- TUSAR, H.M.; UDDIN, M.K.; MIA, S.; SUHI, A.A.; WAHID, S.B.A.; KASIM, S.; SAIRI, N.A.; ALAM, Z.; ANWAR, F. Biochar–soil acid interactions: a review. **Sustainability**, 15, 13366, 2023. doi:10.3390/su151813366
- UR RAHMAN, S.; HAN, J.C.; AHMAD, M.; ASHRAF, M.N.; KHALIQ, M.A.; YOUSAF, M.; WANG, Y.; YASIN, G.; NAWAZ, M.F.; KHAN, K.A.; DU, Z. Aluminum phytotoxicity in acidic environments: a comprehensive review of plant tolerance and adaptation strategies. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 269, 115791, 2024. doi:10.1016/j.ecoenv.2023.115791

- WANG, L.; CAO, S.; YANG, Y. Global fruit production: environmental footprints, regional variability and sustainability hotspots. Resources, **Environment and Sustainability**, 100295, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2026.100295>
- WARKE, A.T.; WAKGARI, T. A review on the impact of soil acidification on plant nutrient availability, crop productivity, and management options in the Ethiopian Highlands. **Agriculture, Forestry and Fisheries**, 13, 31–45, 2024. doi:10.11648/j.aff.20241302.13
- WEHUNT, E.J.; HORTON, B.D.; PRINCE, V.E. Effects of nematicides, lime, and herbicide on Peach Tree Short Life in Georgia. **Journal of Nematology**, 12(3), 183-189, 1980.
- YAMAMOTO, Y. Aluminum toxicity in plant cells: Mechanisms of cell death and inhibition of cell elongation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 65, 41–55, 2019. doi: 10.1080/00380768.2018.1553484
- YAN, L.; RIAZ, M.; LIU, J.; YU, M.; CUNCANG, J. The aluminum tolerance and detoxification mechanisms in plants: Recent advances and prospects. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 52, 1491–1527, 2022.
- YANG, Z.B.; LIU, G.; LIU, J.; ZHANG, B.; MENG, W.; MÜLLER, B. Synergistic action of auxin and cytokinin mediates aluminum-induced root growth inhibition in *Arabidopsis*. **EMBO Reports**, 18, 1213–1230, 2017.
- YU, Y.; JIN, C.; SUN, C.; WANG, J.; YE, Y.; ZHOU, W. Inhibition of ethylene production by putrescine alleviates aluminium-induced root inhibition in wheat plants. **Scientific Reports**, 6, 1–10, 2016. doi: 10.1038/srep18888
- ZHANG, L.; WU, X. X.; WANG, J. F.; QI, C. D.; WANG, X. Y.; WANG, G. L. BoALMT1, an Al-induced malate transporter in cabbage, enhances aluminum tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **Frontiers in Plant Science**, 8, 2018. doi: 10.3389/fpls.2017.02156
- ZHOU, H.; XIAO, X.; ASJAD, A.; HAN, D.; ZHENG, W.; XIAO, G.; ZHOU, Q. Integration of GWAS and transcriptome analyses to identify SNPs and candidate genes for aluminum tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.). **BMC Plant Biology**, 22(1), 130, 2022.
- ZHU, C.Q.; CAO, X.C.; ZHU, L.F.; HU, W.J.; HU, A.Y.; ABLIZ, B. Boron reduces cell wall aluminum content in rice (*Oryza sativa*) roots by decreasing H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> accumulation. **Plant Physiology and Biochemistry | Journal**, 138, 80–90, 2019. doi:10.1016/j.plaphy.2019.02.022



### Capítulo 3

# Seleção de cultivares de pessegueiro mais eficientes na absorção de nutrientes

Betania Vahl de Paula<sup>(1)</sup>

William Natale<sup>(2)</sup>

Carina Marchezan<sup>(3)</sup>

Gustavo Brunetto<sup>(4)</sup>

## Resumo

O pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch) é uma das mais importantes frutíferas de clima temperado cultivadas no Brasil. Porém, os solos do Brasil são ácidos e têm baixa fertilidade natural sendo, por isso, necessário realizar a aplicação de corretivos da acidez e fertilizantes. No entanto, a maior parte dos fertilizantes utilizados no Brasil é importada, havendo necessidade de selecionar cultivares e porta-enxertos mais eficientes na absorção de nutrientes, para que os fertilizantes sejam usados de forma racional, mas com a manutenção de elevadas produtividades e frutos com qualidade. O presente capítulo objetiva apresentar a metodologia para a identificação de genótipos de pessegueiro com maior eficiência de aquisição a nutrientes, bem como resultados de pesquisas recentes relacionadas a esse tópico. Entre os principais avanços recentes destacam-se: a quantificação de diferenças significativas nos parâmetros cinéticos de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  entre porta-

---

<sup>(1)</sup> Bióloga, Doutora em Ciência do Solo, Professora Visitante no Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rodovia BR-465, Km 7, s/n CEP: 23897-000, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: betaniadepaula91@gmail.com

<sup>(2)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Bolsista do CNPq junto a Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, nº 2270, Bairro Pici, CEP 60.511-110, Fortaleza, CE, Brasil. Bolsista em Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: natale@ufc.br

<sup>(3)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo, Pós-Doutoranda no Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº1000, bairro Camobi CEP:97105-330, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. Bolsista em Produtividade em Pesquisa do CNPq 1B. E-mail: marchezancarina@gmail.com

<sup>(4)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor no Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº1000, bairro Camobi CEP:97105-330, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. Bolsista em Produtividade em Pesquisa do CNPq 1B. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

enxertos clonais ('*Tsukuba1*', '*Aldrighi*', '*Clone 15*'); a demonstração da influência da copa '*Chimarrita*' sobre a cinética do porta-enxerto '*Okinawa*'; e a consolidação da metodologia para espécies lenhosas. A aplicabilidade prática abrange incorporação desses critérios em programas de melhoramento vegetal, otimização temporal-espacial da adubação nitrogenada e a elaboração de curvas de diagnose foliar específicas para combinações copa/porta-enxerto, contribuindo para sistemas produtivos mais resilientes e ambientalmente sustentáveis.

**Palavras-chave:** *Prunus persica*, Parâmetros cinéticos, adubação, eficiência de aquisição.

## **1. Introdução**

A seleção de cultivares de pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsch) mais eficientes na absorção de nutrientes constitui um eixo estratégico para aumentar a produtividade e racionalizar o uso de fertilizantes (Paula et al., 2018; Paula et al., 2021). Em fruteiras caducifólias, como o pessegueiro, a eficiência de aquisição de nutrientes deve ser interpretada à luz do caráter perene do sistema radicular e da forte sazonalidade do crescimento, uma vez que a demanda por nutrientes na brotação durante a primavera está relacionada à dinâmica de reservas de carbono (C) e nitrogênio (N) acumuladas em órgãos lenhosos e raízes no outono anterior (Jordan et al., 2014). Nesse contexto, “eficiência de absorção” não é um atributo único, mas um conjunto de variáveis morfológicas (arquitetura radicular, massa e comprimento de raízes), fisiológicas (atividade de transportadores, potencial de influxo, manutenção de absorção em baixas concentrações) e ecofisiológicas (capacidade de absorver sob baixas temperaturas, restrição hídrica ou mudanças na disponibilidade de nutrientes) que interagem com o ambiente e com o sistema de enxertia (Jordan et al., 2014; Paula et al., 2018; Paula et al., 2021).

Na fruticultura moderna, a expressão fenotípica de “cultivar eficiente” em nutrição, frequentemente, emerge da combinação copa x porta-enxerto, pois a maior parte do fluxo de íons para a planta é mediada pelo sistema radicular do

porta-enxerto, enquanto a copa modula a demanda, alocação, sinalização e balanços fonte-dreno que retroalimentam a absorção (Tomasi et al., 2015; Paula et al., 2018; Paula et al., 2021). Assim, embora o termo “cultivar” seja historicamente associado à copa, a seleção para eficiência de absorção de nutrientes exige considerar tanto genótipos de copa quanto, de forma central, genótipos de porta-enxerto, incluindo clones e híbridos interespecíficos, sob protocolos que permitam separar aquisição (absorção) de utilização (uso interno) e de partição (Paula et al., 2018; Paula et al., 2021).

A literatura específica de pessegueiro ainda é desigual quanto à disponibilidade de parâmetros diretamente comparáveis entre genótipos, sobretudo quando se busca quantificar a cinética de absorção por parâmetros como  $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$  (Paula et al., 2018; Paula et al., 2021). Então, serão apresentados os avanços metodológicos recentes em fruteiras perenes, incluindo adaptações do método de Claassen & Barber (1974), para plantas com reservas internas relevantes; isso viabiliza estimar parâmetros cinéticos em porta-enxertos clonais de pessegueiro para formas de N ( $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ ), abrindo caminho para que programas de melhoramento incorporem a eficiência de absorção como critério adicional de seleção (Claassen & Barber, 1974; Paula et al., 2018; Paula et al., 2021). Na sequência serão apresentados alguns resultados de pesquisa, no entanto, como a base empírica para nutrientes além do N em pessegueiro permanece limitada no âmbito cinético, torna-se necessário contextualizar analogias fisiológicas com espécies lenhosas comparáveis, como videira, citros, pereira, macieira e oliveira, explicitando as limitações inerentes à extrapolação entre espécies com diferenças marcantes de fenologia, anatomia radicular e estratégias de aquisição de elementos essenciais (Cerezo et al., 2007; Paula et al., 2021; Marques et al., 2025).

O presente capítulo tem por objetivo apresentar a metodológica para a identificação de genótipos de pessegueiro com maior eficiência de aquisição de nutrientes, detalhando o protocolo adaptado para fruteiras perenes, bem como os

resultados de pesquisas recentes relacionados a esse tema, demonstrando sua aplicabilidade prática para otimizar a adubação, reduzir os custos e as perdas ambientais em pomares.

## **2. Protocolo para a estimativa de parâmetros cinéticos em pessegueiros**

Do ponto de vista de seleção,  $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$  não são apenas descritores matemáticos, mas parâmetros com significado agrônomo: menores valores de  $C_{min}$  e  $K_m$ , implicam capacidade de iniciar e sustentar a absorção em soluções com baixa concentração de nutrientes, enquanto maiores  $V_{max}$  tendem a favorecer a aquisição em condições de maior oferta, desde que não haja limitação por área radicular ativa e por demanda da parte aérea (Paula et al., 2018; Paula et al., 2021). Entretanto, a interpretação desses parâmetros deve reconhecer limitações metodológicas, incluindo dependência do estado nutricional prévio, do protocolo de depleção das reservas, da temperatura e da oxigenação da solução, da escala temporal de coletas e da massa fresca de raízes usada para normalização, fatores que podem alterar a comparabilidade entre os experimentos e entre os laboratórios (Paula et al., 2018; Paula et al., 2021).

O protocolo desenvolvido recentemente para estimativa de parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes em fruteiras perenes, como o pessegueiro (Paula et al., 2021) e para outras frutíferas (Brunetto et al., 2022) começa pela padronização fisiológica do material vegetal e do ambiente de cultivo. Tal procedimento visa amenizar a influência de variáveis exógenas não relacionadas à capacidade intrínseca de absorção da cultivar. As raízes das plantas clonais com aproximadamente 18 meses são lavadas em água destilada e cada planta é instalada em um vaso com capacidade para 7 L, contendo solução nutritiva de Hoagland com 25% da força iônica. As plantas permanecem em aclimatação por 21 dias. Durante essa etapa, a solução é mantida sob aeração constante (com compressor de ar e tubulação), sendo a solução trocada a cada três dias e o pH ajustado

diariamente para  $6,0 \pm 0,2$  com HCl ou NaOH  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ , garantindo a estabilidade química e as condições adequadas de absorção radicular.

A etapa seguinte é a depleção de reservas internas, que é crucial em espécies perenes, visto que as raízes e os caules armazenam nutrientes e, sem esgotamento prévio, a planta pode não expressar sua capacidade máxima de absorção. Após a aclimação, a solução nutritiva é substituída por  $\text{CaSO}_4$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e, nessa condição, as plantas permanecem por até 30 dias para reduzir as reservas internas do nutriente de interesse. A presença de Ca e S é mantida para preservar o potencial da membrana e evitar danos estruturais às membranas radiculares durante o período de “fome”. Essa adaptação (depleção prolongada) foi proposta pelos Professores Gustavo Brunetto, João Kaminski e Betânia Vahl de Paula durante a realização da Tese de Doutorado da última autora. Essa é a principal diferença em relação a protocolos clássicos de culturas anuais e visa assegurar que o influxo medido reflita efetivamente a cinética de absorção e não a disponibilidade de reservas internas.

Concluída a depleção, busca-se estabelecer uma condição próxima ao “estado estacionário” de absorção, simulando a situação de plantas em solo com absorção contínua. Para isso, as plantas são transferidas para a solução de Hoagland à 50% da concentração original e mantidas por 1 hora, etapa necessária para que o sistema atinja o estado estacionário. Em seguida, a solução de Hoagland a 50% é substituída novamente e tem início a marcha de absorção: coletam-se alíquotas da solução ao longo do tempo (o período total e o intervalo de coleta são definidos por testes preliminares, com referência de aproximadamente 60 horas, sem reposição de solução e sem ajuste de pH durante as coletas, para que a queda de concentração seja atribuída exclusivamente à absorção pelas raízes.

Ao final das coletas, a planta é removida do vaso e separada em folhas, caules e raízes objetivando mensurações morfológicas e análises químicas que permitam normalização e interpretação dos parâmetros cinéticos. Mede-se a altura e o diâmetro do caule, determina-se a massa fresca, quantifica-se o volume

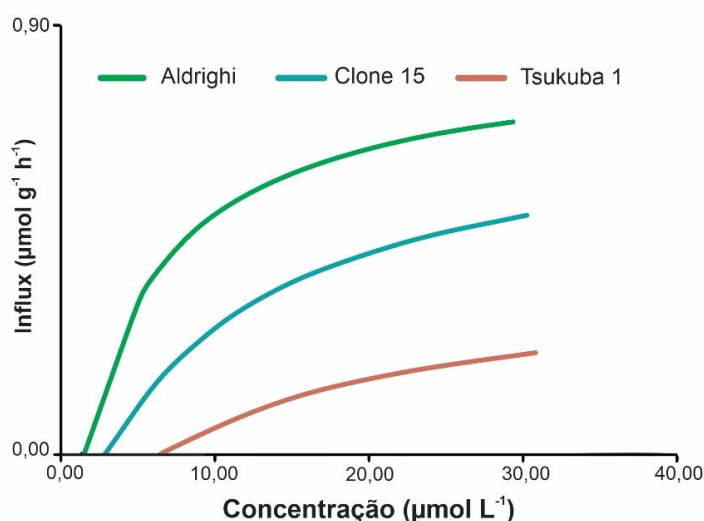
remanescente da solução e os órgãos são secos em estufa com circulação forçada a 65 °C até massa constante para a obtenção de matéria seca. Em seguida, o material seco é moído e analisado quimicamente, sendo a solução coletada também analisada para o nutriente de interesse. Os dados de concentração ao longo do tempo, volumes inicial e final, além da massa fresca de raízes são então usados para estimar  $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$  por ajuste do modelo de influxo via *software* Influx 1.0 (Rozane et al., 2024), gerando os parâmetros cinéticos por unidade experimental passíveis de análise estatística comparativa entre os tratamentos e ao longo do tempo.

### **3. Resultados sobre a cinética de absorção de nitrogênio em pessegueiros**

A variabilidade genética da eficiência de absorção de nutrientes em pessegueiros pode ser abordada em dois níveis complementares: variação entre porta-enxertos quanto à capacidade de aquisição e translocação; e, variação entre copas quanto à demanda, ao padrão de alocação e à sinalização que regula a absorção e a remobilização (Paula et al., 2018; Tomasi et al., 2015). Em termos de seleção, porta-enxertos clonais e híbridos oferecem um espaço amplo de exploração genética, pois reúnem características de adaptação edáfica (tolerância a encharcamento, seca, alcalinidade, nematoides, etc.) e, simultaneamente, modulam vigor, arquitetura radicular e nutrição mineral, características que determinam a eficiência de aquisição em ambientes específicos (Mayer et al., 2023).

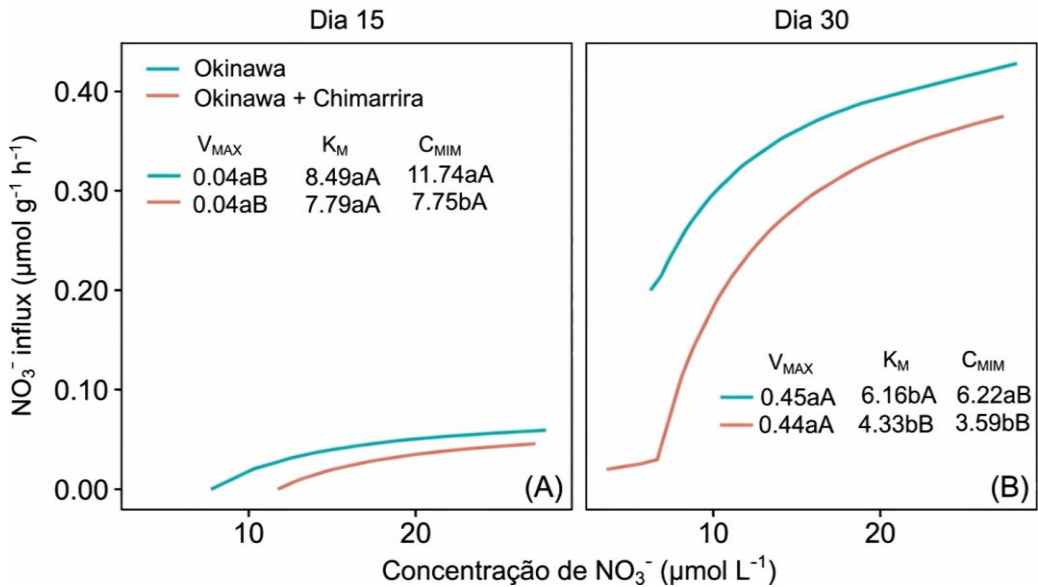
O avanço mais consolidado na seleção de *Prunus* para maior eficiência de absorção tem se concentrado no nitrogênio (N), visto que já existem evidências quantitativas de que diferentes porta-enxertos apresentam capacidades contrastantes para absorver  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ , quando avaliados por parâmetros cinéticos (Paula et al., 2018; Paula et al., 2021) Nesse sentido, Paula et al. (2018) demonstraram que porta-enxertos clonais de pessegueiro diferem entre si em características como  $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$  para  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ , distinguindo materiais como ‘*Tsukuba1*’, ‘*Aldrighi*’ e ‘*Clone 15*’ (Figura 1), o que reforça a utilidade da

cinética como critério para identificar genótipos mais aptos em manter a absorção em baixas concentrações dessas formas de nitrogênio. O mesmo estudo mostrou padrão bifásico na absorção de  $\text{NO}_3^-$  em ‘*Tsukuba1*’ e ‘*Aldrighi*’, sugerindo coexistência de sistemas de alta e baixa afinidade. Por outro lado, a absorção de  $\text{NH}_4^+$  aparentou seguir o padrão de uma fase, compatível com a predominância de um sistema de alta afinidade no intervalo de concentração avaliado (Paula et al., 2018).

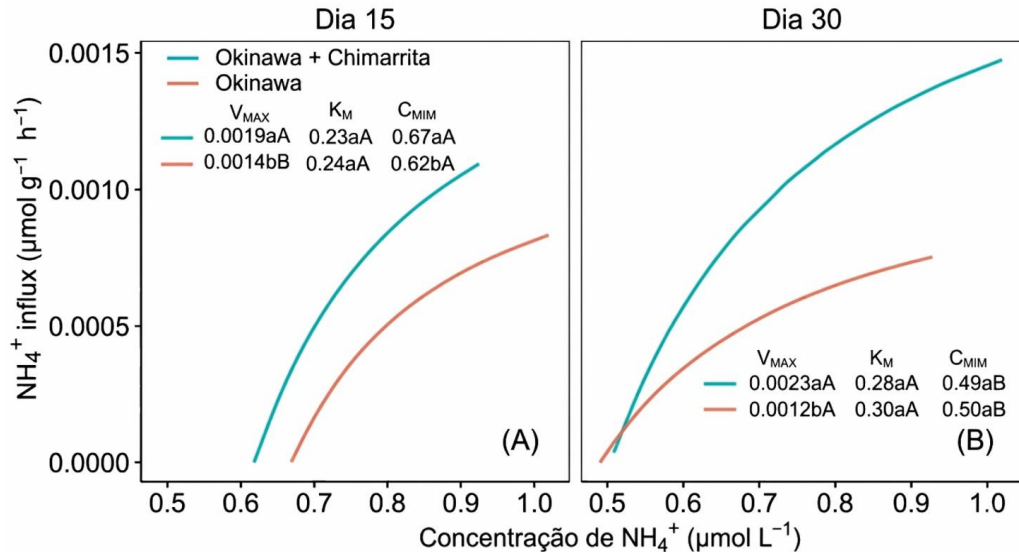


**Figura 1.** Influxo máximo de  $\text{NO}_3^-$  determinado em três porta-enxertos clonais de pessegueiro (aproximadamente 18 meses de idade). Fonte: Paula et al. (2018).

Com a evolução conceitual e metodológica, Paula et al. (2023) avançaram ao demonstrar que essa eficiência não é determinada apenas pelo porta-enxerto, mas pode ser modificada pela copa, ao evidenciar que a enxertia com ‘*Chimarrita*’ altera os parâmetros cinéticos de absorção de N do porta-enxerto ‘*Okinawa*’ (Figuras 2 e 3), confirmando que a combinação copa  $\times$  porta-enxerto é determinante para a aquisição de nutrientes e deve ser tratada como unidade de seleção.



**Figura 2.** Taxa de influxo de  $\text{NO}_3^-$ ,  $C_{min}$ ,  $K_m$  e  $V_{max}$  em ‘Okinawa’ não enxertado e em ‘Okinawa’ enxertado com ‘Chimarrita’, cultivados em solução de Hoagland após 15 e 30 dias de depleção de reservas internas em  $\text{CaSO}_4$  ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ). Médias seguidas por letras minúsculas indicam diferenças entre cultivares em cada tempo de avaliação; médias seguidas por letras maiúsculas indicam diferenças entre tempos dentro de cada cultivar ( $p = 0,01$ ; teste de Tukey). Fonte: Paula et al. (2023).



**Figura 3.** Taxa de influxo de  $\text{NH}_4^+$ ,  $C_{min}$ ,  $K_m$  e  $V_{max}$  em ‘Okinawa’ não enxertado e em ‘Okinawa’ enxertado com ‘Chimarrita’, cultivados em solução de Hoagland após 15 e 30 dias de depleção de reservas internas em  $\text{CaSO}_4$  ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ). Médias seguidas por letras minúsculas indicam diferenças entre cultivares em cada tempo de avaliação; médias seguidas por letras maiúsculas indicam diferenças entre tempos dentro de cada cultivar ( $p = 0,01$ ; teste de Tukey). Fonte: Paula et al. (2023).

Entretanto, a seleção baseada somente na cinética de absorção de um nutriente pode levar a escolhas subótimas se ignorar outros parâmetros fisiológicos, como maior vigor vegetativo com maior exigência de outros nutrientes, maior suscetibilidade a desbalanços catiônicos, ou maior sensibilidade a estresses abióticos que reduzam a difusão e o fluxo de massa na rizosfera (Jordan et al., 2014; Mayer et al., 2023). Essa ressalva é particularmente importante em plantas perenes caducifólias, cuja eficiência de absorção no início do ciclo pode estar condicionada pela disponibilidade de reservas, bem como pela capacidade de mobilizar carboidratos, como indicado por Jordan et al. (2014). Esses autores demonstraram que a absorção precoce de N pode compensar a deficiência de N na estocagem do outono, desde que haja mobilização suficiente de carboidratos não estruturais (Jordan et al., 2014). Assim, programas de seleção devem integrar atributos de raiz (cinética, morfologia e tolerância edáfica), com atributos de copa (fenologia, força de dreno, potencial fotossintético), assim como com a compatibilidade do enxerto, visto que a eficiência observada é emergente dessa integração (Tomasi et al., 2015; Mayer et al., 2023).

A variabilidade genética também se manifesta na capacidade de tolerar restrições específicas de micronutrientes, como Fe, em que a diferença entre porta-enxertos pode se refletir em homeostase, expressão de transportadores, manutenção de pigmentos e proteção antioxidante, como observado na comparação ‘*GF677*’ versus ‘*Maotao*’ (Sun et al., 2022). A seleção para esse tipo de eficiência requer ensaios sob condições edáficas representativas, abrangendo diversos tipos de solos ácidos, alcalinos ou calcários, bem como métricas que capturem tanto o estado nutricional quanto a resposta fisiológica, evitando que a seleção se baseie apenas em sintomas visuais de clorose ou em um único indicador foliar.

#### **4. Aplicabilidade do conhecimento dos parâmetros cinéticos**

A seleção de genótipos mais eficientes na absorção de nutrientes tem implicações diretas sobre o manejo nutricional do pessegueiro, uma vez que permite ajustar doses, fontes e cronogramas de adubação ao potencial de aquisição do sistema radicular e ao padrão sazonal de demanda da copa (Paula et al., 2021; Jordan et al., 2014). Em fruteiras perenes, o risco de super adubação é elevado quando recomendações são aplicadas de modo uniforme para materiais genéticos com capacidades contrastantes de absorção e de translocação, pois a resposta a fertilizantes resulta da interação entre disponibilidade no solo, arquitetura e fisiologia radicular, além da intensidade de dreno da parte aérea (Paula et al., 2021; Tomasi et al., 2015). As diferenças entre porta-enxertos podem alterar as classes de interpretação de macro e micronutrientes por análise foliar, o que implica que a diagnose nutricional e a tomada de decisão devem considerar a combinação copa x porta-enxerto como unidade de manejo (Mayer et al., 2023).

No caso do N, a integração entre a cinética de absorção em porta-enxertos e a dinâmica sazonal de absorção e remobilização, sugere que estratégias de manejo devem buscar sincronia entre oferta e demanda, explorando janelas em que a absorção radicular é efetiva, evitando períodos em que a planta depende majoritariamente de reservas. Jordan et al. (2014) reportam que a absorção de N em pessegueiros jovens na primavera pode ser maior e mais precoce em plantas previamente limitadas em N no outono, sendo que após o fim de abril a absorção passa a responder mais fortemente ao suprimento de N na primavera. Esse resultado reforça que o fracionamento da adubação nitrogenada e a adequação do momento de aplicação ao estágio fenológico, podem ter importância similar àquelas da dose a ser aplicada, especialmente quando se busca maximizar a recuperação de N e reduzir as perdas de formas do nutriente por lixiviação (Jordan et al., 2014).

A aplicação da cinética como ferramenta de seleção abre a possibilidade de escolher porta-enxertos com menores  $C_{min}$  e  $K_m$  e maiores  $V_{max}$  para

$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  como estratégia de “adaptação genética” a solos de menor fertilidade, reduzindo a dependência de altas doses de fertilizante para manter o crescimento e o acúmulo de N em folhas (Paula et al., 2018; Paula et al., 2021). No estudo de Paula et al. (2018), o porta-enxerto ‘*Tsukuba1*’ apresentou parâmetros cinéticos mais favoráveis (menores  $C_{min}$  e  $K_m$  e maiores  $V_{max}$ ) e maior produção de matéria seca e acúmulo de N, o que sustenta seu potencial para sistemas em que se pretende elevar eficiência de aquisição de N. Porém, a recomendação prática deve reconhecer que parâmetros cinéticos estimados em solução nutritiva descrevem o potencial de transporte sob condições controladas, e que a tradução para o desempenho a campo depende de fatores como textura e estrutura do solo, disponibilidade hídrica, temperatura, competição com microrganismos e heterogeneidade espacial de nutrientes, o que requer validação em ensaios de campo (Paula et al., 2021; Claassen e Barber, 1974).

Para micronutrientes, as implicações práticas se concentram na seleção de porta-enxertos tolerantes a condições restritivas de disponibilidade, como pH elevado em solos calcários para Fe, além do ajuste de práticas corretivas (aplicação localizada, quelatos, acidificação localizada, manejo de matéria orgânica), em materiais geneticamente mais sensíveis (Sun et al., 2022; Mayer et al., 2023). Sun et al. (2022) demonstraram que ‘*GF677*’ é mais tolerante à clorose por deficiência de Fe do que ‘*Maotao*’. Os autores associaram essa tolerância a maior transferência e acúmulo de Fe para a parte aérea e as respostas fisiológicas e transcriptômicas de defesa e recuperação fotossintética. Isso indica que a escolha do porta-enxerto pode ser uma medida de manejo tão relevante quanto intervenções de adubação recorrentes. Mayer et al. (2023), por sua vez, demonstraram que os porta-enxertos alteram os teores foliares de micronutrientes como B, Cu, Mn e Zn em ‘*Jade*’, e que a mesma copa pode transitar entre classes de suficiência dependendo do porta-enxerto, reforçando que estratégias de adubação e diagnose precisam ser específicas para a combinação utilizada (Mayer et al., 2023).

## **5. Considerações finais**

Tendo em vista as condições edáficas desfavoráveis do Brasil (reação ácida e baixa fertilidade natural), há exigência de elevadas aplicações de insumos nos solos dos pomares, a fim de promover um ambiente adequado à exploração das culturas; considerando, também, que as espécies frutíferas são altamente responsivas à correção da acidez e à adubação, porém, devido às características peculiares desse grupo de plantas, a aplicação de insumos exige o uso de estratégias inovadoras nos pomares, objetivando o máximo rendimento/qualidade dos frutos; levando em conta, ainda, que a utilização de fertilizantes em plantas frutíferas é praticamente uma imposição à produtividade, visto as grandes quantidades de elementos essenciais que são imobilizados pela parte vegetativa das árvores ou exportados à cada safra; tendo em consideração, além disso, que enorme parcela dos fertilizantes utilizados no País é importada, e que as reservas minerais para sua produção são escassas, finitas e não renováveis, especialmente de P e K; ponderando, igualmente, que para a efetiva permanência do fruticultor no campo é imperativa a utilização de todas as ferramentas disponíveis à obtenção de colheitas compensadoras, com redução de custos, dos riscos de contaminação do ambiente e com qualidade do produto colhido para atender um consumidor cada vez mais exigente, o aprimoramento do conhecimento, via pesquisas, na busca por plantas de pessegueiro mais competentes na aquisição de elementos essenciais, é fundamental.

A seleção de cultivares de pessegueiro mais eficientes na absorção de nutrientes revela-se técnica viável por meio de protocolos metodológicos robustos, como a adaptação do método de Claassen e Barber (1974) para fruteiras perenes, que quantifica parâmetros cinéticos ( $V_{max}$ ,  $K_m$  e  $C_{min}$ ) de forma precisa e reproduzível. Essa abordagem, detalhada em Paula et al. (2021), incorpora etapas cruciais de aclimação em hidroponia, esgotamento prolongado de reservas internas e análise via *software* Influx 1.0, permitindo separar a aquisição radicular de utilização interna e amenizar interferências sazonais ou fenológicas. Seu

potencial em programas de melhoramento vegetal é elevado, pois fornece critérios quantitativos e objetivos para a triagem precoce de genótipos, integrando-se a avaliações de vigor, tolerância edáfica e compatibilidade de enxertia com vistas a desenvolver materiais adaptados a solos com baixa fertilidade e cenários de racionalização de uso de insumos.

Os resultados experimentais consolidam diferenças significativas na cinética de absorção de nitrogênio ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ) entre porta-enxertos clonais, destacando '*Tsukuba I*' como o mais eficiente, com maior  $V_{\text{max}}$ , menor  $C_{\text{min}}$  e superior acúmulo de N e biomassa, seguido por '*Aldrighi*', enquanto '*Clone 15*' apresenta menor desempenho geral (Paula et al., 2018). A copa '*Chimarrita*' enxertada sobre '*Okinawa*' altera esses intervalos, geralmente elevando a eficiência de absorção após esgotamento de reservas, como evidenciado por incrementos em  $V_{\text{max}}$  e reduções em  $K_m$  para ambas as formas de N (Paula et al., 2023). Tais resultados reforçam a necessidade de selecionar a modificação copa  $\times$  porta-enxerto como unidade funcional, evitando *trade-off* como maior vigor associado aos desbalanços nutricionais.

Embora promissores para o nitrogênio, persistem lacunas em parâmetros cinéticos para outros macros e micronutrientes, exigindo expansão de estudos com validação em campo visando medir os ganhos agrônômicos sustentáveis. A integração desses critérios em estratégias de manejo, como adubação fracionada sazonal e curvas de diagnóstico foliar específicas, pode mitigar perdas por lixiviação, reduzir custos e aumentar a resiliência de pomares frente à variabilidade climática. Assim, uma prospecção genética focada em eficiência de absorção emerge como pilar para a fruticultura moderna no Brasil, alinhando produtividade à sustentabilidade ambiental.

## 6. Referências Bibliográficas

- BRUNETTO, G., PAULA, B. V., KRUG, A. V., TASSINARI, A., MARCHEZAM, C., KULMAN, M. S. DE S., TRENTIN, E., STEFANELLO, L. O., MARQUES, A. C. R., SANTOS, E. M. H., ROZANE, D. E., KAMINSKI, J., SANTOS, H. P. DOS, & MELO, G. W. B. DE. **Procedimentos para avaliação de parâmetros cinéticos na absorção de nutrientes em videiras** (Documentos, 131). Embrapa Uva e Vinho. 2022.
- CEREZO, M., CAMAÑES, G., FLORS, V., PRIMO-MILLO, E., GARCÍA-AGUSTÍN, P. Regulation of nitrate transport in citrus rootstocks depending of nitrogen availability. **Plant Signal. Behav.** 2, 337–342. 2007.
- CLAASSEN, N.; BARBER, S. A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. **Plant Physiology**, v. 54, n. 4, p. 564–568, 1974.
- JORDAN, M.-O.; VERCAMBRE, G.; GOMEZ, L.; PAGÈS, L. The early spring N uptake of young peach trees (*Prunus persica*) is affected by past and current fertilizations and levels of C and N stores. **Tree Physiology**, v. 34, n. 1, p. 61–72, 2014.
- MARQUES, A.L.L.; KRUG, A.V.; SANS, G.A. Kinetic, morphological, and photosynthetic parameters of absorption of nitrogen forms in olive cultivars (*Olea europaea* L.). **Trees**, 39, 89 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00468-025-02668-0>
- MAYER, N.A.; NAVROSKI, R.; NAVA, G.; BENATI, J.A.; ANTUNES, L.E.C.; ROTH, F.M.; UENO, B.; VALGAS, R.A. The leaf nutrient content of ‘Jade’ peach grafted on 22 clonal rootstocks and in own-rooted trees. **Comunicata Scientiae**, v. 14, e3983, 2023.
- PAULA, B. V.; MARQUES, A. C. R.; RODRIGUES, L. A. T.; SOUZA, R. O. S.; KULMANN, M. S. S.; KAMINSKI, J.; CERETTA, C. A.; MELO, G. W. B.; MAYER, N. A.; ANTUNES, L. E.; RICACHENEVSKY, F. K.; NICOLOSO, F. T.; BRUNETTO, G. Morphological and kinetic parameters of the uptake of nitrogen forms in clonal peach rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v. 239, p. 205–209, 2018.
- PAULA, B. V.; ROZANE, D. E.; MELO, G. W. B.; NATALE, W.; MARQUES, A. C. R.; BRUNETTO, G. Kinetic parameters estimation for increasing the efficiency of nutrient absorption in fruit trees. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 3, e-743, 2021.
- PAULA, B.V.; SETE, P.B.; BERGHETTI, A.L.P.; STEFANELLO DA SILVA, L.O.S.; JUNG, J.P.; NICOLOSO, F.T.; MAYER, N.A.; KULMANN, M.S.; BRUNETTO, G. Kinetic parameters related to nitrogen uptake in ‘Okinawa’ peach rootstocks are altered by ‘Chimarrita’ scion. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 2, p. 917–923, 2023.
- ROZANE, D. E.; SANTOS, E. M. H.; BRUNETTO, G.; PAULA, B. V. de; MARQUES, A. C. R. **Influx 1.0**. Registro de Programa de Computador. Instituto Nacional da Propriedade Industrial, processo n. BR512024000053-4, criado em 21 out. 2023, expedido em 16 jan. 2024.
- SUN, S.; LI, J.; SONG, H.; CHEN, D.; TU, M.; CHEN, O.; JIANG, G.; ZHOU, Z. Comparative transcriptome and physiological analyses reveal key factors in the tolerance of peach rootstocks to iron deficiency chlorosis. 3 **Biotech**, 2022.

TOMASI, N.; MONTE, R.; VARANINI, Z.; CESCO, S.; PINTON, R. Induction of nitrate uptake in Sauvignon Blanc and Chardonnay grapevines depends on the scion and is affected by the rootstock. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 21, p. 331–338, 2015.



## *Capítulo 4*

# **Amostragem e preparo de amostras de solo e folhas em pomar de pessegueiro**

William Natale<sup>(1)</sup>  
Adriana Guirado Artur<sup>(2)</sup>  
Antonio João de Lima Neto<sup>(3)</sup>  
Douglas Luiz Grando<sup>(4)</sup>

### **Resumo**

No Brasil, devido às condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, especialmente na região Sul do país, o pessegueiro tem prosperado, obtendo-se boas produtividades e frutos com excelente qualidade. Porém, apesar da boa adaptação ao clima, os solos nos quais essa frutífera é cultivada são, em geral, ácidos e apresentam baixa disponibilidade de nutrientes. Soma-se a isso, o fato de que essa é uma atividade de longo prazo, cujas plantas permanecem explorando praticamente o mesmo volume de solo por décadas, o que exige o manejo adequado da fertilidade da área e da nutrição da cultura. Assim, estimar a demanda de nutrientes pelo pessegueiro é essencial para gerenciar a aplicação de insumos de

---

<sup>(1)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Bolsista do CNPq junto a Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, nº 2270, Bairro Pici, CEP 60.511-110, Fortaleza, CE, Brasil. Bolsista PQ do CNPq. E-mail: natale@ufc.br

<sup>(2)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciências (Solos e Nutrição de Plantas), Bolsista de Pós-doutorado Sênior do CNPq junto a Universidade Federal do Ceará (UFC), Av. Mister Hull, 2977, Campus do Pici, CEP 60.356-000, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: driguirado@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Professor Adjunto no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Av. Mister Hull, 2977, Campus do Pici, CEP 60.356-000, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: antonio.joao@ufc

<sup>(4)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Bolsista de Pós-Doutorado FAPESC no Departamento de Agricultura, Biodiversidade e Florestas da Universidade Federal de Catarina (UFSC), Curitiba, SC, Brasil. E-mail: douglas.agn@hotmail.com

forma eficaz, aumentando a produtividade e a qualidade dos frutos e reduzindo os riscos de impacto ambiental. A fim de alcançar esse objetivo, torna-se essencial lançar mão de ferramentas agronômicas como as análises químicas de solo e de folhas, pois essas técnicas definem a necessidade e as doses de corretivos e fertilizantes a serem utilizadas nos pomares. Para tanto, é imprescindível que a amostragem de solo e de folhas, bem como seu preparo para as determinações analíticas, sejam conduzidas com critério técnico, de modo que os resultados sejam representativos da área que se busca avaliar. Este capítulo procurou reunir as informações disponíveis, especialmente aquelas obtidas em instituições de pesquisa do Brasil, sobre os protocolos que devem ser empregados para tornar essas ferramentas eficazes, o que propiciará recomendações de corretivos e fertilizantes racionais para as áreas exploradas com a cultura do pêsego.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo; correção da acidez; diagnose do estado nutricional; fruticultura; *Prunus*.

## **1. Introdução**

O pessegueiro (*Prunus persica* L.) tem seu centro de origem na China, tendo se dispersado para outras regiões pelos movimentos migratórios humanos desde o início da civilização, sendo hoje cultivado em mais de 80 países. A ampla aceitação do pêsego entre os consumidores é atribuída, principalmente, à coloração vibrante dos frutos, ao sabor adocicado, ao aroma característico e agradável, além de seu elevado valor nutricional (Serra et al., 2020; Veerappan et al., 2021).

O pessegueiro é uma planta de regiões temperadas, que encontrou no Brasil condições climáticas favoráveis ao seu estabelecimento, desenvolvimento e produção, em especial nos estados do Sul do país. Apesar do clima ser satisfatório, os solos das áreas nos quais os pomares dessa frutífera estão implantados, necessitam de ajustes na fertilidade, a fim de que as plantas possam expressar todo seu potencial genético em termos de rendimento e qualidade dos frutos. Nesse

contexto, é importante destacar que a seleção da maioria das cultivares de pêsego atualmente exploradas foram desenvolvidas em ambientes de elevada disponibilidade de nutrientes, tornando-se essencial fornecer as mesmas condições para a obtenção de altas produtividades e de frutos com as propriedades organolépticas desejadas.

Entre as características desfavoráveis dos solos das regiões tropicais e subtropicais, como na maior parte do Brasil, as principais são a reação ácida e a baixa fertilidade natural. Em função disso não há, em geral, garantia do suprimento necessário de nutrientes para atender a demanda das culturas, exigindo o estabelecimento de programas de aplicação de insumos para o manejo adequado da calagem e da adubação dos pomares. Considerando que a relação entre o rendimento e a disponibilidade de nutrientes no solo é bem conhecida, deve-se utilizá-la para estabelecer a aplicação de fertilizantes nos períodos de maior exigência da cultura, evitando o fornecimento excessivo ou deficiente de elementos essenciais. Os fertilizantes têm papel fundamental no aumento da produtividade; no entanto, as abordagens atuais de manejo da adubação não contemplam, em geral, aplicações equilibradas para atender a demanda das culturas, resultando em desperdício de recursos naturais escassos, finitos e não renováveis, como no caso do fósforo (P) e do potássio (K). Apesar de os problemas químicos dos nossos solos serem desfavoráveis ao cultivo do pessegueiro, as práticas de correção da acidez e do manejo da fertilidade são bem conhecidas e relativamente simples de serem implementadas, permitindo a superação dessas limitações e a obtenção de altos rendimentos, quando aplicadas de forma correta.

Nesse contexto, avaliações no solo e na planta emergem como ferramentas capazes de oferecer informações valiosas para o manejo dos pomares. Nunca é demais ressaltar que as características químicas dos solos são determinadas analiticamente pela análise da sua fertilidade, que indica a disponibilidade de nutrientes, o grau de acidez, além de outras informações

relevantes. Porém, a fim de que o laudo da análise de solo seja representativo da área que está sendo avaliada, é imprescindível seguir rigorosamente as instruções disponíveis nos boletins oficiais, como o da CQFS-RS/SC (2016), para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Além disso, frutíferas perenes, como o pessegueiro, têm características peculiares que as diferenciam das culturas anuais, e que, portanto, devem ser consideradas no manejo nutricional dos pomares como, por exemplo: o sistema radicular das árvores é pujante e abrangente, que explora camadas abaixo daquelas avaliadas cotidianamente; uma vez levadas ao campo, as plantas permanecem restritas a área circundante, sem mobilização do solo por anos ou décadas; as árvores armazenam grande quantidade de nutrientes em sua biomassa, os quais podem ser remobilizados entre os órgãos; culturas, como o pessegueiro, sofrem podas a cada novo ciclo produtivo, exigindo grandes reposições de nutrientes. Todos esses aspectos implicam em que, além da avaliação da fertilidade do solo, o monitoramento do estado nutricional das plantas é fundamental para aferir o balanço nutricional e assegurar que práticas como a calagem e a adubação estão tendo os efeitos benéficos desejados (Natale & Rozane, 2018).

A análise foliar, no caso das culturas anuais, tem pouca utilidade prática; entretanto, no caso de plantas perenes, como o pessegueiro, o diagnóstico do estado nutricional, que avalia o teor total de nutrientes nas folhas, permite comparações com resultados de culturas altamente produtivas, facilitando os ajustes necessários nos programas de correção da acidez e de fertilização. O uso desta ferramenta exige, também, como no caso da análise de solo, que os procedimentos de amostragem sejam padronizados e criteriosos, obedecendo sempre a padrões pré-definidos (mesma metodologia), tanto de coleta e preparo, como de análise química, a fim de que o laudo represente a situação real do pomar que está sendo avaliado.

Este capítulo traz informações detalhadas e objetivas sobre a importância e os procedimentos usados para a avaliação da fertilidade do solo, via análise

química, bem como define os parâmetros necessários à adequada amostragem de folhas, às determinações analíticas, além da interpretação do estado nutricional do pessegueiro.

## **2. Importância da análise de solo e da análise de folhas para o adequado manejo dos pomares de pessegueiro**

No decorrer da evolução da agricultura o Homem percebeu, por meio da observação e do empirismo, que para aumentar o rendimento das colheitas e a qualidade dos produtos (variáveis dependentes) era preciso alterar/manejar a fertilidade do solo e a nutrição das plantas (variáveis independentes). A partir da idade moderna, com o desenvolvimento do método científico e da experimentação, a pesquisa passou a definir práticas agrícolas, como a calagem e a adubação, capazes de contribuir para atingir esses objetivos.

A análise de solo se tornou importante, segundo Boaretto et al. (1988), provavelmente quando o Homem se interessou por saber como as plantas cresciam, sendo Liebig, por volta de 1840, o primeiro a realizar essa determinação no solo. Foi necessário, porém, aguardar praticamente um século para que ocorresse, em meados dos anos 1920/1930, evolução significativa nos protocolos utilizados nos laboratórios, a fim de proporcionar segurança e robustez aos resultados analíticos. A avaliação da fertilidade baseia-se na análise química de diversas propriedades do solo, bem como de sua interpretação, o que permite identificar fatores que comprometem o crescimento e o desenvolvimento das culturas, como a acidez, além de estimar a capacidade do meio edáfico em suprir nutrientes aos vegetais. Desde então, a análise de solo tem sido fundamental para o estabelecimento dos programas de calagem e adubação, objetivando melhorar o ambiente radicular em benefício das culturas. No caso das frutíferas, é importante ressaltar, ainda, que as características edáficas refletem diretamente no rendimento dos pomares, mas, sobretudo, na qualidade do produto colhido.

O fundamento da análise de solo é a existência, dentro de certos limites, de relações causais entre as concentrações de nutrientes disponíveis no solo, seus teores em folhas bem definidas para cada cultura e a grandeza da produção e/ou qualidade do produto colhido. Assim, a análise química é a forma mais fácil e prática de se avaliar a fertilidade do solo, indicando suas carências nutricionais, a presença de elementos tóxicos e a acidez da área. Desde há muito tempo, então, a análise de solo é a primeira ação imprescindível para o sucesso de qualquer empreendimento agrícola, visto que dela dependerá o uso racional e econômico de insumos na propriedade, os quais determinarão as colheitas, em especial nas áreas tropicais e subtropicais.

Apenas e tão somente a partir da análise química do solo é possível realizar a transferência das informações obtidas pela pesquisa científica sobre a reação do solo e sua fertilidade ao produtor rural, o que possibilita a aplicação técnica e segura de insumos como corretivos e adubos. Para que essa ferramenta agronômica seja eficaz, entretanto, há protocolos a serem seguidos, com o propósito de que o resultado do laudo reflita a condição real da área que está sendo avaliada.

O programa de análise de solo é composto de várias etapas: amostragem, preparo da amostra, envio ao laboratório, análise química, interpretação dos resultados, recomendação de insumos e validação dos procedimentos. Todas as fases têm igual importância e devem ser cuidadosamente realizadas para que o resultado da análise seja representativo da área em questão. Porém, a amostragem é a etapa mais crítica da avaliação da fertilidade do solo e, na qual, ocorrem falhas com maior frequência. Isso pode ser explicado, pelo menos em parte, porque a amostragem é realizada, em geral, por pessoas que muitas vezes não compreendem a importância de uma coleta de solo criteriosa ou que não estão capacitadas para realizá-la. É importante ressaltar, ainda, que o critério que fundamenta toda amostragem é o fato de as propriedades químicas dos solos variarem até mesmo em pequenas áreas. Além disso, a concentração do nutriente indicado no laudo da

análise química do solo é um índice de disponibilidade e não a quantidade do nutriente realmente disponível/absorvido pelo vegetal.

Em vista disso, apesar de a análise de solo ser uma ferramenta consagrada na agricultura, para a maioria das frutíferas, além de conhecer a fertilidade do solo, há necessidade de se realizar a análise foliar, em virtude da perenidade, visto que esse grupo de plantas adquire certa estabilidade nutricional na fase adulta (Marschner, 1995). Afora isso, os pomares de frutas têm certas peculiaridades que os diferenciam das culturas anuais, requerendo compreensão de aspectos nutricionais para o manejo adequado das plantas, como: são culturas perenes, cujo sistema radicular é pujante e abrangente, explorando camadas de solo abaixo daquelas analisadas normalmente; as árvores podem absorver formas não trocáveis de nutrientes, nem sempre extraídas pelos métodos de análise química utilizados em laboratórios de rotina; a árvore como um todo (ramos, tronco, folhas e raízes) constitui um imenso reservatório de nutrientes, que podem ser remobilizados; as podas constantes nesse grupo de plantas implica em reposição elevada de nutrientes à cada ciclo; há, também, o conhecido efeito dos nutrientes sobre a qualidade dos frutos, fundamental para a adequada comercialização dos produtos (Natale & Rozane, 2018). Considerando isso, constatou-se que, além de avaliar a fertilidade do solo, era preciso diagnosticar o estado nutricional das culturas perenes, visto que há grande possibilidade de se modificar/ajustar as recomendações de adubos com base nas informações da análise foliar. É importante ressaltar que a diagnose foliar é uma ferramenta fundamental para o manejo de corretivos e fertilizantes em pomares de frutas, tendo em vista que as folhas representam o principal órgão vegetal relacionado à fotossíntese e, em consequência, ao potencial de produção.

*A priori*, para se conhecer as exigências nutricionais de uma cultura, não se pode imaginar método mais direto do que “perguntar” à própria planta. A ideia de “interrogar” a planta, via análise de folhas, para conduzir a adubação mineral, foi proposta por Lagatu & Maume (1934 a, b), que denominaram esse método

Diagnose Foliar. De acordo com as premissas desse conceito, apenas a planta é capaz de “conhecer” o grau de satisfação de suas necessidades nutricionais. A escolha da folha, como a parte da planta a ser analisada, repousa na presunção de que esse é o órgão-chave na produção de matéria viva vegetal, responsável pela assimilação do carbono. Uma folha bem definida para a amostragem seria a parte da planta mais adequada para expressar com sensibilidade a presença dos nutrientes e, em consequência, a capacidade produtiva da cultura. Da mesma maneira que para a avaliação da fertilidade do solo, a análise foliar é um programa, composto de várias etapas, as quais devem ser seguidas com critério para que o resultado do laudo reflita o real estado nutricional da frutífera, sendo: amostragem, preparo da amostra, envio ao laboratório, análise química, interpretação dos resultados, recomendação de insumos (no caso do nitrogênio para algumas culturas) e validação dos procedimentos. Assim, a análise foliar é uma técnica extremamente útil de diagnosticar o estado nutricional dos pomares de frutas, porém, os protocolos para cada cultura devem seguir padrões rigorosos, a fim de que os resultados possam ser comparados no tempo e no espaço.

No decorrer deste capítulo procurar-se-á oferecer uma sólida base conceitual para demonstrar a importância das análises de solo e folhas, bem como os cuidados necessários para a obtenção de resultados confiáveis para a utilização racional de insumos em benefício da cadeia produtiva do pessegueiro.

### **3. Amostragem e preparo das amostras de solo**

As áreas de cultivo de pêssigo no Brasil abrangem uma grande diversidade de solos, que são bastante variáveis em relação aos atributos da fertilidade. Em geral, os pomares dessa frutífera estão implantados em solos pobres quimicamente, apresentando elevada acidez, altas concentrações de alumínio trocável e baixa concentração de nutrientes, características que limitam o crescimento, a densidade e a distribuição das raízes do pessegueiro em profundidade (Petry et al., 2016). Essas condições, quando detectadas, exigem do produtor a realização de práticas

indispensáveis ao manejo da fertilidade do solo, como a calagem e a adubação, a fim de que os pomares alcancem altas produtividades e que seus frutos sejam de excelente qualidade.

A análise química é a principal ferramenta usada para avaliar a fertilidade do solo e, a partir dos resultados do laudo, são definidas as necessidades de corretivos da acidez e de fertilizantes que devem ser aplicados nos pomares de pessegueiro. Essa técnica compreende várias etapas: amostragem, envio ao laboratório, preparo da amostra, determinação analítica, interpretação dos resultados e recomendação. Entretanto, para que os resultados das análises de solo sejam confiáveis e representativos da área amostrada, é necessário que todas as etapas sejam rigorosamente executadas, seguindo as indicações científicas.

A amostragem é a etapa mais crítica e a que está mais sujeita a erros, pois, em geral, é realizada por pessoas com pouco ou nenhum conhecimento sobre os procedimentos e a técnica. É importante salientar, ainda, que quando a amostragem é feita de forma inadequada, a análise laboratorial, apesar de correta, não refletirá a realidade da área analisada, ou seja, erros cometidos na amostragem não serão corrigidos no laboratório. Desse modo, todo o programa de recomendação de calagem e adubação será comprometido, induzindo o produtor a subestimar ou superestimar as doses de insumos, implicando em gastos desnecessários, comprometendo a produção e a qualidade dos frutos, além de causar impactos ambientais negativos.

A amostragem de solo deve ser realizada antecedendo a implantação do pomar de pessegueiro, bem como após a implantação das mudas no campo, durante todo o ciclo de vida das plantas. Quando da implantação do pomar, a amostragem deve seguir os mesmos critérios empregados para as culturas anuais. Deve-se dividir a área em glebas homogêneas quanto ao tipo de solo, topografia, textura, cor, drenagem, dentre outras características, percorrendo o terreno em zigue-zague, coletando aleatoriamente de 10 a 20 subamostras (15 em média) por gleba homogênea para compor uma amostra (CQFS-RS/SC, 2016). É necessário

limpar a superfície do terreno onde será feita a amostragem, retirando-se folhas e galhos, sem retirar parte significativa do solo (Figura 1). Em pomares já estabelecidos, a amostragem deve ser realizada anualmente ou após a colheita dos frutos, no final da safra, seguindo os mesmos critérios da análise inicial, quanto à homogeneidade. Deve-se considerar, ainda, a idade do pomar, a cultivar, bem como os porta-enxertos utilizados, pois, as pesquisas têm mostrado que esses fatores estão relacionados com diferenças nas exigências nutricionais do pessegueiro (Zhou & Melgar, 2020; Mayer et al., 2023).



**Figura 1.** Subamostra de solo coletada em um pomar de pessegueiros na camada 0-20 cm, no período após a colheita dos frutos. Foto: Jacson Hindersmann.

A coleta de solo para a realização da análise química para fins de fertilidade pode ser feita em qualquer época do ano, porém, sempre com antecedência mínima de três meses ao plantio das mudas ou do início do período de dormência das plantas, quando se tratar de pomares já instalados (Nava et al., 2022a). Essa antecipação é imprescindível, pois, além do tempo gasto entre o envio da amostra ao laboratório e o recebimento dos resultados, caso seja necessária a realização da calagem na área, o corretivo requer tempo mínimo de três meses para corrigir a acidez do solo.

Considerando que o pessegueiro, cujo sistema radicular explora camadas de solo além da superficial (Mayer et al., 2007), é recomendável amostrar as profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm. Os resultados da análise química da camada superficial (0-20 cm) devem ser usados para recomendar calcário e adubo, caso seja necessário. Já os resultados da camada subsuperficial (20-40 cm) devem ser usados para diagnosticar limitações químicas ao crescimento radicular das plantas (deficiência de cálcio e/ou excesso de alumínio) e, eventualmente, para realização da gessagem. Os pomares de frutas recebem adubações localizadas ao longo de vários anos, geralmente na projeção da copa, causando diferenciação nos níveis de fertilidade na linha (projeção da copa), comparada à entrelinha do pomar (Natale et al., 2008). Devido a essa característica das plantas frutíferas, recomenda-se avaliar a fertilidade da linha de plantio todos os anos e, da entrelinha, a cada dois/três anos (Natale et al., 2020). Os resultados das análises da linha serão usados para recomendar fertilizantes e corretivos, caso necessário. Já os resultados das análises da entrelinha devem ser empregados para a neutralização da acidez, pois, as pesquisas têm mostrado que as raízes das árvores frutíferas buscam na entrelinha cálcio e magnésio, quando do esgotamento desses elementos na projeção da copa (Natale et al., 2007).

As subamostras coletadas em cada área devem ser misturadas manualmente em um balde plástico limpo. Não se deve utilizar recipientes metálicos devido ao risco de contaminação da amostra, principalmente com micronutrientes. Ao final

da coleta, retira-se aproximadamente de 300-500 g (amostra composta), que deve ser colocada em saco plástico, identificada e encaminhada a um laboratório de análises de solo credenciado e que tenha selo de controle de qualidade.

#### **4. Interpretação da análise química de solo**

Os resultados das análises químicas do solo para fins de fertilidade são interpretados por comparação com valores de referência. Esses padrões são previamente estabelecidos em trabalhos de calibração, conduzidos em condições de campo, nos quais os solos apresentam concentrações adequadas de nutrientes, suficientes para proporcionar a nutrição satisfatória das plantas e altas produtividades. Para interpretar as concentrações de fósforo (P) e de potássio (K) do solo em pomares de pessegueiro, são usadas as normas gerais estabelecidas para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Tabela 1). Na Tabela 2 é apresentada a interpretação para micronutrientes nos solos de ambos os Estados.

**Tabela 1.** Classes de interpretação das concentrações de fósforo e de potássio em solos dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina

Classe de disponibilidade para Fósforo	Classe de teor de argila <sup>1</sup>			
	1	2	3	4
	----- P, Mehlich-1 (mg dm <sup>-3</sup> ) -----			
Muito baixa	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 6,0	≤ 10,0
Baixa	3,1 – 6,0	4,1 – 8,0	6,1 – 12,0	10,1 – 20,0
Média	6,1 – 9,0	8,1 – 12,0	12,1 – 18,0	20,1 – 30,0
Alta	9,1 – 18,0	12,1 – 24,0	18,1 – 36,0	30,1 – 60,0
Muito alta	> 18,0	> 24,0	> 36,0	> 60,0
Classe de disponibilidade para Potássio	CTC <sub>pH 7,0</sub> do solo			
	≤ 7,5	7,6 – 15,0	15,1 – 30,0	> 30,0
	----- K, Mehlich-1 (mg dm <sup>-3</sup> ) -----			
Muito baixa	≤ 20	≤ 30,0	≤ 40	≤ 45
Baixa	21 – 40	31 – 60	41 – 80	46 – 90
Média	41 – 60	61 – 90	81 – 120	91 – 135
Alta	61 – 120	91 – 180	121 – 240	136 – 270
Muito alta	> 120	> 180	> 240	> 270

**Fonte:** Adaptado de CQFS-RS/SC (2016).<sup>1</sup>Teores de argila: classe 1 = > 60% argila; classe 2 = 60 a 41%; classe 3 = 40 a 21%; classe 4 = ≤ 20%.

**Tabela 2.** Classes de interpretação das concentrações de micronutrientes em solos dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina

Classe de disponibilidade	B	Cu	Mn	Zn
	Água Quente	Mehlich-1		
----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
Baixa	< 0,1	< 0,2	< 2,5	< 0,2
Média	0,2 – 0,3	0,2 – 0,4	2,5 – 5,0	0,2 – 0,5
Alta	> 0,3	> 0,4	> 5,0	> 0,5

Fonte: Adaptado de CQFS-RS/SC (2016).

Considerando a importância do atendimento da demanda em nutrientes pelo pessegueiro, a adubação é uma das principais práticas agronômicas, a qual é determinante da produtividade dessa frutífera (Freire & Magnani, 2014). Desta forma, a partir da análise de solo e da interpretação dos valores, o objetivo é elevar e manter a concentração de nutrientes até a classe alta de disponibilidade. Isso pode ser feito por meio do emprego de fertilizantes orgânicos ou industriais, seguindo as recomendações regionais de fertilidade do solo.

Estudos recentes desenvolvidos por Grandó et al. (2025a, b) e exemplificados abaixo baseados em Moura-Bueno et al. (2025) propuseram as quantidades de P e K a serem aplicadas na adubação de pré-plantio em um grupo de solos da Serra Gaúcha do RS, que apresentam alta variabilidade química e física, influenciando a capacidade tampão de P e K (CTP e CTK). Um valor médio de CTP de 27,4 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi obtido e corresponde a quantidade de fertilizante necessária para elevar a concentração de P determinada pelo extrator Mehlich-1 no solo em 1,0 mg dm<sup>-3</sup>. Além disso, esses solos apresentam altos teores de matéria orgânica do solo (MOS) e elevada capacidade de troca catiônica (CTC<sub>pH7,0</sub>), além de alta disponibilidade de K determinada pelo extrator Mehlich-1. Dessa forma, o valor de CTK para solos com CTC<sub>pH7,0</sub> na classe Média (7,6 – 15,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) foi de 2,5; para a classe Alta (15,1 – 30,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) foi de 2,9;

e, para classe Muito Alta ( $> 30,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) foi de 3,3, representando a dose de fertilizante a ser adicionada ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) para aumentar a concentração de K extraído por Mehlich-1 do solo em  $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Como exemplo: um solo com 35% de argila (classe 3) e concentração inicial de P (Mehlich-1) de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$ , que indica baixa disponibilidade de P (Tabela 1), emprega-se a equação 1, em que o *P final* será o valor do nível crítico ( $18 \text{ mg dm}^{-3}$ ) de acordo com a classe de argila; o *P inicial* é o valor de P obtido na análise de solo e a *CTP* é o valor descrito anteriormente. A equação fornecerá a dose de fertilizante necessária a ser adicionada ao solo para corrigir a fertilidade, elevando a concentração do nutriente até a classe alta.

Adubação de correção ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ ) = (P final - P inicial) x CTP      *Equação 1*

Adubação de correção =  $(18 - 10) \times 27,4 = \mathbf{219,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5}$

O mesmo cálculo pode ser realizado para o nutriente K (Equação 2), para um exemplo de solo com  $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$  de  $18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e concentração de K (Mehlich-1) de  $80 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Adubação de correção ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ ) = (K final - K inicial) x CTK      *Equação 2*

Adubação de correção =  $(120 - 80) \times 2,9 = \mathbf{116,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}}$

## **5. Amostragem e preparo das amostras de folhas**

A análise foliar é um método preciso de diagnosticar, juntamente com a análise de solo, as necessidades nutricionais dos pomares, sendo a única maneira de acompanhar os benefícios de práticas agrícolas como a calagem e a adubação. É importante destacar, novamente, que as árvores frutíferas, como o pessegueiro, permanecem explorando praticamente o mesmo volume de solo por vários anos e, nessa situação, podem ocorrer ao longo do tempo impedimentos químicos (exemplo: acidez) ou físicos (exemplo: compactação do solo) que reduzem a eficiência da adubação. Assim, a única maneira de confirmar se a cultura está

aproveitando o nutriente aplicado é fazer um diagnóstico nutricional, “interrogando a planta” por meio da análise foliar.

Dentre os diversos órgãos que podem ser utilizados na análise, as folhas constituem o principal tecido amostrado, uma vez que refletem de forma precisa o estado nutricional das plantas, técnica conhecida como diagnose foliar (Malavolta, 2006; Rengel et al., 2023). A coleta de folhas, quando feita de forma criteriosa e padronizada, possibilita a obtenção de amostras representativas, amenizando os efeitos de fatores ambientais, fisiológicos e de manejo que possam vir a comprometer os resultados analíticos. Essa ferramenta agrônômica fornece informações confiáveis sobre o estado nutricional da cultura, auxiliando na tomada de decisão de modo mais assertivo quanto à adubação e às correções necessárias. Além disso, permite o monitoramento da nutrição da cultura ao longo dos ciclos produtivos, contribuindo para que o manejo seja mais eficiente.

Ao empregar a análise foliar em pessegueiros, é fundamental considerar que a composição química das folhas pode variar em função de diversos fatores, tais como a cultivar, a idade da planta, as práticas de manejo, a posição da folha no ramo e, também, com a presença de pragas e doenças. Esses fatores podem interferir significativamente na interpretação dos resultados, sendo, portanto, fundamental conhecê-los para a obtenção de diagnósticos nutricionais precisos.

A época ideal para a coleta de folhas de pessegueiro varia em função do estágio fenológico da planta e dos objetivos da análise. Para fins de diagnose nutricional, recomenda-se realizar a amostragem no final do crescimento vegetativo e início da frutificação, período que nas regiões Sul e Sudeste do Brasil ocorre, em geral, entre os meses de dezembro e janeiro. Nesse estágio fenológico, a planta apresenta folhas maduras e fisiologicamente ativas, que refletem de forma mais precisa o estado nutricional. Deve-se coletar folhas completas (lâmina foliar com pecíolo), localizadas na porção mediana dos ramos do ano, distribuídas uniformemente em todos os lados da planta (Figura 2). O intervalo ideal para a amostragem situa-se entre a 13<sup>a</sup> e a 15<sup>a</sup> semana após a plena floração,

independentemente se a amostra for de cultivar de maturação precoce ou tardia (CQFS-RS/SC, 2016; Nava et al., 2022a).



**Figura 2.** Amostragem de folhas para a diagnose do estado nutricional em pomar de pessegueiros. Foto: Jacson Hindersmann.

Caso o período de amostragem coincida com a colheita dos frutos de determinada cultivar, ou ocorra logo após, recomenda-se antecipar a amostragem foliar em uma ou duas semanas. Essa medida visa garantir que a amostragem seja sempre realizada antes da colheita, assegurando a confiabilidade dos resultados obtidos. Segundo Natale et al. (2020), para cada frutífera existe uma indicação padronizada de amostragem, devendo ser seguida rigorosamente.

No caso do pessegueiro, recomenda-se a coleta de folhas completamente desenvolvidas, fisiologicamente ativas, isentas de sintomas de deficiência nutricional, ataque de pragas ou incidência de doenças. A amostragem deve ser realizada, preferencialmente, coletando-se entre a 4<sup>a</sup> e a 6<sup>a</sup> folha a partir do ápice de ramos mistos (ramos que apresentam folhas e frutos). Cada amostra deve ser

composta por cerca de 100 folhas, coletando-se quatro folhas por planta, em 25 plantas distribuídas aleatoriamente em talhões homogêneos (Magnani et al., 1997; Martinez et al., 1999; Freire & Magnani, 2005; CQFS-RS/SC, 2016).

A amostragem de folhas deve ser realizada, preferencialmente, no período da manhã, evitando o horário de sol forte. Deve-se utilizar sacos de papel ou plástico perfurados, limpos, identificados com as informações da amostra (data, talhão, cultivar, idade das plantas, sistema de cultivo) para armazenar as folhas. Após a coleta, as amostras devem ser armazenadas em local fresco até o envio ao laboratório.

Embora a prática de coletar folhas durante a frutificação seja amplamente recomendada em nível mundial, pois esse é o estágio em que as exigências nutricionais das plantas se intensificam devido ao papel dos frutos como drenos, outros períodos podem também ser favoráveis a absorção de nutrientes (Johnson et al., 2006). De acordo com Leonel et al. (2011), em estudo avaliando os teores foliares de nutrientes em pessegueiros e nectarineiras, cultivados em clima subtropical, a coleta de folhas durante o período de dormência apresentou boa resposta ao nitrogênio (N), ao fósforo (P), ao boro (B) e ao zinco (Zn). Natale et al. (2020) relatam que amostragens foliares em culturas frutíferas em períodos mais precoces, como no florescimento ou na dormência, podem apresentar-se como épocas mais adequadas para realizar o diagnóstico nutricional, visto a possibilidade de o resultado do laudo auxiliar no ajuste (para mais ou para menos) do programa de adubação no mesmo ciclo agrícola. Esses ajustes, baseados na estimativa do estado nutricional das plantas, são importantes para evitar o desperdício de insumos, reduzir os custos de produção, diminuir os impactos ambientais e evitar prejuízos à qualidade dos frutos colhidos.

Dessa forma, embora a coleta de folhas durante a frutificação seja amplamente utilizada por refletir a elevada demanda nutricional do pessegueiro, períodos alternativos, como a dormência, podem ser eficazes na avaliação de determinados nutrientes. Esses resultados reforçam a necessidade de se ajustar o

momento da amostragem foliar às condições edafoclimáticas e ao estágio fenológico da cultura, de modo a otimizar a interpretação dos resultados da diagnose nutricional e a eficiência das recomendações de corretivos e fertilizantes.

Após a coleta, as folhas mantêm a respiração, podendo comprometer a integridade do material se não forem corretamente acondicionadas (Boaretto et al., 2009). Embora o tecido vegetal fresco possa ser armazenado por até dois dias sem alterações químicas significativas, a perda de água dificulta a remoção de impurezas superficiais no processo de lavagem no laboratório. Por isso, recomenda-se manter as amostras refrigeradas, o que preserva a turgescência das folhas.

Quando o intervalo entre a coleta e o preparo da amostra for inferior a 24 horas, as folhas devem ser armazenadas em sacos de papel ou plástico perfurado. Para períodos superiores a dois dias, é necessário realizar a limpeza e a secagem das amostras, preferencialmente em estufa de circulação forçada de ar a 65-70 °C ou, na ausência desta, à sombra. A limpeza é feita com algodão e água destilada, seguida de detergente neutro a 0,1% e novo enxágue. Após secas, as folhas devem ser armazenadas e corretamente identificadas para posterior análise laboratorial (Freire & Magnani, 2005; Boaretto et al., 2009).

As amostras foliares passam por quatro etapas no laboratório: lavagem, secagem, moagem e armazenamento. A lavagem é feita com água destilada, detergente neutro e, se necessário, solução de HCl a 3%. A secagem é feita em estufa a 65 °C até peso constante e, em seguida, a amostra é moída em moinho tipo Willey e passada em peneira de abertura de malha de 1 mm de diâmetro, sendo armazenada em recipiente identificado.

A determinação dos teores totais de nutrientes no tecido foliar é realizada submetendo-se as amostras a diferentes processos de digestão analítica, conforme o elemento a ser quantificado: digestão sulfúrica (determinação de N, P, K, Ca e Mg); digestão nitro-perclórica (determinação de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn); o B é quantificado após incineração completa da amostra de tecido vegetal em

mufla, seguida da dissolução das cinzas em solução de ácido clorídrico. A descrição sucinta dos métodos de análise utilizados nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina pode ser encontrada em CQFS-RS/SC (2016).

Os procedimentos analíticos adotados seguem metodologias reconhecidas, adaptadas de acordo com os protocolos de cada laboratório. As análises devem ser realizadas em laboratórios credenciados, que adotem procedimentos padronizados e validados para garantir a confiabilidade dos resultados.

## **6. Interpretação da análise química de folhas**

A análise de tecido foliar consiste na determinação dos teores totais de macro e micronutrientes em folhas coletadas em períodos específicos do ciclo fenológico da cultura. Os resultados da análise são expressos da seguinte forma:

- Macronutrientes: em % (m/m) ou  $\text{g kg}^{-1}$  (N, P, K, Ca, Mg, S);
- Micronutrientes: em  $\text{mg kg}^{-1}$  (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Cl, Ni).

O diagnóstico é realizado por meio da comparação entre os teores dos nutrientes determinados nas amostras e os valores de referência definidos para cada espécie, bem como para o estágio de desenvolvimento da cultura. Os valores de referência são estabelecidos com base em plantas consideradas nutricionalmente equilibradas, que apresentam crescimento adequado, produtividade satisfatória e ausência de sintomas visuais de deficiência ou excesso de nutrientes. No caso do pessegueiro (*Prunus persica*), os valores de referência variam conforme o cultivar, a idade da planta, o porta-enxerto, o clima, o solo e o manejo adotado. Por isso, recomenda-se a utilização de faixas interpretativas atualizadas, as quais devem ser obtidas por meio de estudos regionais/locais ou embasadas em recomendações oficiais.

A Tabela 3 apresenta os valores de referência para a interpretação dos teores de macro e micronutrientes em pessegueiros nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os quais refletem as condições edafoclimáticas e os sistemas de produção predominantes nesses Estados.

**Tabela 3.** Classes de valores para a interpretação da composição química de macro e micronutrientes em folhas de pessegueiro e de nectarineira

Classes	Macronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
	----- % <sup>a</sup> -----				
Insuficiente	< 2,00	< 0,05	< 0,50	< 0,65	< 0,20
Normal	3,30 – 4,50	0,09 – 0,30	1,40 – 2,00	1,70 – 2,60	0,50 – 0,80
Excessivo	> 6,00	> 0,40	> 2,80	> 3,60	> 1,20
Classes	Micronutrientes				
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Insuficiente	< 50	-	< 10	< 20	< 3
Normal	100 – 230	6 – 30	24 – 37	30 – 160	30 – 60
Excessivo	> 330	> 50	> 50	> 400	> 90

<sup>a</sup>% x 10 = g kg<sup>-1</sup> Fonte: CQFS-RS/SC (2016).

Nava et al. (2022b) observaram que as faixas de teores foliares de nutrientes na ‘Esmeralda’ foram estreitas e distintas dos padrões nutricionais usualmente recomendados para o Sul do Brasil pela CQFS-RS/SC, (2016). Com isso, os autores destacam que a utilização de padrões nutricionais regionais pode representar um risco para pomares específicos de pessegueiro. Isso ocorre pois, diferentes cultivares apresentam exigências nutricionais distintas, as quais não são contempladas por referências generalizadas.

Em estudo conduzido em 144 pomares de pessegueiros localizados no Sul do Rio Grande do Sul, com as cultivares Chimarrita, Chiripá, Delanona, Eragil, Fascínio, Kampai, Pialo, PS10711, PS-Tardia e São Barbosa, foram analisadas amostras de tecido foliar com o objetivo de avaliar o estado nutricional das plantas.

Com os resultados, verificou-se que os perfis nutricionais dessas cultivares podem ser agrupados em categorias homogêneas, permitindo maior eficiência na condução de experimentos com adubação e nas estratégias de manejo nutricional mais específicas (Melo et al., 2018).

Além da época de amostragem e da cultivar, o porta-enxerto também é um fator determinante na absorção e no acúmulo de nutrientes pelas plantas. Avaliando o efeito de 19 porta-enxertos clonais sobre o crescimento vegetativo e os teores de nutrientes nas folhas dos pessegueiros 'BRS Kampai' e 'BRS Rubimel', Sobierajski et al. (2021) verificaram que o tipo de porta-enxerto afeta a absorção da maioria dos nutrientes. Resultados semelhantes foram observados por Mayer et al. (2015), que também relataram variações significativas nos teores foliares dos elementos essenciais, em função do porta-enxerto utilizado. Esses resultados reforçam que, além das condições edafoclimáticas e do manejo, fatores genéticos e fisiológicos, como o tipo de porta-enxerto devem ser considerados na interpretação da análise foliar e no estabelecimento de recomendações de insumos.

Apenas para reforçar o que foi discutido nos parágrafos anteriores sobre os efeitos do clima, solo e manejo pode-se observar pela Tabela 4, os teores de nutrientes em folhas de pessegueiro, que definem classes de deficiência e de suficiência nos Estados Unidos. Esses valores foram obtidos a partir de folhas da parte mediana dos ramos, durante o verão, e expressos com base no peso seco.

**Tabela 4.** Classes de valores deficiência e de suficiência para a interpretação da composição química de macro e micronutrientes em folhas pessegueiros

Classe	Macronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
	----- % <sup>a</sup> -----				
Suficiente	2,60 – 3,50	0,14 – 0,40	2,00 – 3,00	1,50 – 3,00	0,30 – 0,80
Deficiente	2,20 – 2,40	0,09 – 0,12	0,75 – 1,00	1,00	0,10 – 0,30
	Micronutrientes				
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Suficiente	80 – 250	5 – 16	20 – 50	40 – 200	30 – 70
Deficiente	-	3	10 – 20	20	15 – 30

<sup>a</sup>% x 10 = g kg<sup>-1</sup> Fonte: Johnson (2008).

A época de coleta das folhas pode interferir significativamente nos valores de referência determinados para cada nutriente, sendo portanto, um fator crítico na interpretação da análise foliar. Com o objetivo de avaliar os teores foliares de nutrientes em cultivares de pessegueiro e nectarineira em pomares do estado de São Paulo, Leonel et al. (2011) coletaram folhas em quatro fases fenológicas: após a colheita, durante a dormência, no início do florescimento e no período de frutificação, antes da colheita (Tabela 5). Variações significativas nos teores de macro e micronutrientes foram observadas entre as diferentes épocas de amostragem. Além disso, houve diferenças entre as cultivares para determinados nutrientes, o que evidencia a influência do material genético na composição nutricional das folhas.

**Tabela 5.** Teores de macro e micronutrientes em amostras foliares de cultivares de pessegueiro e nectarineira, cultivadas em clima tropical e coletadas em diferentes fases fenológicas (vegetativa, dormência, floração e frutificação)

Período	Macronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Vegetativo	37	2,6	17	6	2,9
Dormência	33	2,2	20	13	3,8
Floração	45	4	18	6	2,3
Frutificação	33	4,6	24	10	3,3

Período	Micronutrientes				
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Vegetativo	82	12	17	72	78
Dormência	132	9	13	121	51
Floração	132	12	32	83	152
Frutificação	103	9	25	96	50

Fonte: Leonel et al. (2011).

O diagnóstico nutricional em plantas, com base na análise foliar, depende diretamente da comparação entre os teores determinados na amostra e as faixas de suficiência previamente estabelecidas como padrão. No entanto, essas faixas são, em geral, definidas com base em estudos regionais ou nacionais, que nem sempre refletem as condições específicas de solo, clima, manejo, cultivar ou porta-enxerto de cada pomar. Por isso, a interpretação dos resultados em escala nacional/regional pode diferir significativamente daquela realizada em nível local. Essa limitação pode, em parte, explicar por que muitos pomares de pessegueiro no Brasil apresentam produtividades inconsistentes ou abaixo do esperado, mesmo quando os teores foliares indicam “normalidade”, segundo os padrões disponíveis.

Dessa forma, é importante considerar que as faixas de suficiência não têm validade universal, e sua utilização deve levar em conta as particularidades da

região. As variações genéticas, as condições edafoclimáticas, o sistema de cultivo e os estágios fenológicos podem alterar significativamente os teores nutricionais considerados adequados para a cultura. Portanto, a utilização dessas faixas deve ser realizada com critério e, sempre que possível, complementada por resultados locais e por métodos de interpretação robustos, como o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND), que considera as relações entre os nutrientes. Essa é uma questão fundamental, pois, segundo Parent (2011) a máxima produção depende do equilíbrio entre os nutrientes na planta, caracterizado por proporções (relações) bem definidas entre esses elementos. Desse modo, nem sempre o teor absoluto do nutriente é suficiente para se obter altos rendimentos. Em muitos casos a deficiência relativa, ou seja, a proporcionalidade entre os vários elementos no tecido vegetal, desempenha papel mais importante. Assim, é necessário avaliar o equilíbrio entre os nutrientes, ou seja, a interpretação deve ser multinutriente, considerando as interações que ocorrem no tecido vegetal. A justificativa para essa nova maneira de encarar o diagnóstico nutricional é que os valores determinados nas análises de folhas são essencialmente multivariados, ou seja, não se pode analisar um nutriente de modo individual e, sim, cada elemento essencial em relação a todos os outros (Parent, 2011).

Para que essas abordagens sejam eficazes, é fundamental dispor de conjuntos de dados amplos, representativos e de alta qualidade, os quais são indispensáveis para o desenvolvimento de recomendações de insumos mais precisas e alinhadas à realidade específica de cada pomar (Betemps et al., 2020).

Quanto à interpretação dos resultados da análise foliar, existem vários métodos que se diferenciam principalmente pela forma de parametrização dos dados. O Desvio da Percentagem Ótima (DOP) avalia o estado nutricional das plantas com base no quanto os teores dos nutrientes se desviam dos valores considerados ideais (ótimos). O método da Faixa de Suficiência, por exemplo, é um método univariado que considera o teor de cada nutriente em relação à produção e ao padrão nutricional adequado. É o método mais simples e

amplamente utilizado para diagnóstico rápido. Já o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) se baseia nas relações bivariadas entre nutrientes para avaliar o equilíbrio nutricional e identificar quais elementos estão sendo mais limitantes à produção. Já o Diagnose da Composição Nutricional (CND) é um método multivariado que analisa a composição global dos nutrientes na planta, oferecendo uma visão integrada e detalhada do estado nutricional. *Softwares* empregando o método CND foram desenvolvidos para diversas culturas, inclusive para o pessegueiro e, em breve, poderão ser acessados (<https://www.registro.unesp.br/sites/cnd/>). Porém, é importante reforçar que os teores ótimos de nutrientes são afetados pelas condições climáticas, cultivar e manejo da cultura.

No caso do pessegueiro, Monge et al. (1995) compararam o método DRIS com o método DOP e observaram que ambos identificavam os mesmos nutrientes limitantes, mas, o DOP apresentou interpretação mais eficaz no contexto estudado. Já Betemps et al. (2020) aplicaram métodos compostos (semelhantes ao CND), usando o aprendizado de máquina e as transformações *log ratio* para realizar diagnósticos em nível local. Os autores observaram que a utilização conjunta dos métodos resultou em um diagnóstico nutricional mais preciso e refinado, comparado às recomendações regionais convencionais.

Em estudo voltado para a correção da deficiência de Fe em pessegueiros e nectarineiras, Abbasi-Karvaneh et al. (2024) investigaram combinações de fertilizantes orgânicos e biológicos com fertilizantes químicos. Além de corrigir a clorose de Fe, o equilíbrio nutricional e os nutrientes limitantes ao crescimento, foram usadas normas apropriadas, de acordo com os métodos DOP, DRIS e CND. Isso reforça que para a compreensão mais precisa do estado nutricional dos pomares é preferível utilizar normas estabelecidas em cada local/região.

## **7.Considerações finais**

A despeito da capacidade das árvores frutíferas de subsistirem em solos com baixa fertilidade, quando se busca rendimentos satisfatórios em áreas comerciais, um bom programa de calagem e adubação é necessário, a fim de que os pomares se estabeleçam rapidamente, produzam precocemente e atinjam rendimentos elevados. Assim, o desempenho das plantas perenes depende, antes de tudo, do acompanhamento constante da fertilidade do solo, mas, sobretudo, do monitoramento do estado nutricional da cultura. Portanto, compreender a importância de ferramentas como a análise de solo e análise de folhas, bem como sua correta utilização, permite implementar manejos adequados de corretivos e fertilizantes, promovendo não apenas aumento no rendimento dos pomares e na qualidade das colheitas, mas, também, racionalidade no uso de insumos e sustentabilidade ambiental. O manejo inadequado de nutrientes tem sido reconhecido como uma das principais restrições à produção frutícola. Cabe, pois, aos profissionais das Ciências Agrárias utilizar argumentos convincentes sobre a importância dessas ferramentas agrícolas, indicando seus benefícios e, inclusive, o provável lucro, que é o fator determinante para que qualquer técnica seja adotada pelo fruticultor, afinal, sem lucro, a atividade não se mantém. Não custa lembrar aqui um antigo ditado, que resume o conceito do método indutivo do filósofo inglês Francis Bacon: *Por falta de análise, perde-se a fertilidade do solo; por falta de fertilidade, perde-se a colheita; e, por falta de produção, perde-se a fazenda.*

Sob outra perspectiva, apesar das atuais dificuldades em se obter financiamento, tanto público como privado, pode-se destacar que a excelente aceitação pelo consumidor, aliada aos adequados preços alcançados pelos frutos do pessegueiro, incentivam a continuidade das pesquisas para aprimorar o manejo nutricional da cultura, o que trará reflexos positivos para toda cadeia produtiva dessa frutífera. É importante, também, levar ao campo as ferramentas tecnológicas mais recentes, como a modelagem e os meios digitais, a fim de possibilitar que o meio rural avance para a modernidade. Porém, somente com diagnósticos precisos,

planejamento e capacitação dos técnicos e dos fruticultores haverá evolução no setor. É fundamental reforçar, ainda, a necessidade de valorizar os cuidados com a coleta e as determinações analíticas, de cujos resultados dependem todos os avanços para a melhoria da produtividade e da qualidade dos frutos. A capacidade e o profissionalismo do técnico na interpretação dos resultados das análises de solo e folhas são imprescindíveis, a fim de que o uso dessas ferramentas agrônômicas não vá além do que deve e não fique aquém do que precisa determinar para auxiliar o produtor. Finalmente, em um cenário em que a fruticultura enfrenta constantes aumentos de custos de produção, todos os desenvolvimentos tecnológicos que contribuam para melhorar a relação benefício: custo, preservando o meio agrícola, devem ser perseguidos.

## **8. Referências Bibliográficas**

ABBASI-KARVANEH, Z.; RANJBAR, F.; BEHESHTI-ALAGHA, A.; SHARIFI, R.; CHAGHAZARDI, H. Improvement of iron chlorosis and nutrient balance in peach and nectarine trees under the integrated fertilization management using DOP, DRIS, and CND methods. **Scientia Horticulturae**, v. 338, p. 113697, 2024.

BETEMPS, D. L.; PAULA, B. V.; PARENT, S-E.; GALARCA, S. P.; MAYER, N. A.; MARODIN, G. A. B.; ROZANE, D. E.; NATALE, W.; MELO, G. W. B.; PARENT, L.; BRUNETTO, G. Humboldtian diagnosis of peach tree (*Prunus persica*) nutrition using machine-learning and compositional methods. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 900, 2020.

BOARETTO, A. E.; CHITOLINA, J. C.; CRUZ, A. P. Fundamentos para a amostragem de solo. In: Simpósio sobre interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação, 1988, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Unesp, 1988.

BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. van; SILVA, F. C.; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J. CARMO, C. A. F. S. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. p. 59-85.

CQFS-RS/SC - **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 11<sup>o</sup>. ed., 2016, 376p.

FREIRE, C. J. S.; MAGNANI, M. Adubação e correção do solo. In: RASEIRA, M. C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Eds.). **Pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 259-281.

FREIRE, C. J. S.; MAGNANI, M. **Manual de coleta de amostras de folhas, para diagnose nutricional, das principais frutíferas cultivadas no RS e em SC**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005, 18 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 142).

- GRANDO, D. L.; LIMA-RODRIGUES, M.; MARTINS, C. G.; DEPONTI, L. P.; SCHMITT, D. E.; MUMBACH, G. L.; TASSINARI, A.; MOURA-BUENO, J. M.; MARQUES, A. L. L.; BRUNETTO, G. Phosphorus buffer capacity to soils with medium clay and high organic matter content from Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49:e0240110, 2025a.
- GRANDO, D. L.; MARTINS, C. G.; DEPONTI, L. P.; LIMA-RODRIGUES, M.; MUMBACH, G. L.; SCHMITT, D. E.; MOTERLE, D. F.; TIECHER, T. L.; GARLET, L. P.; DUNKER, L. S.; PAPALIA, D. G.; BRUNETTO, G. Potassium buffer capacity in subtropical soils with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 49:e0240201. 2025b.
- JOHNSON, R. S. Nutrient and water requirements of peach trees. In: LAYNE, D. R.; BASSI, D. **The peach: botany, production and uses**. Wallingford: CABI. 2008. p. 303-331.
- JOHNSON, R. S.; ANDRIS, H.; DAY, K.; BEEDE, R. Using dormant shoots to determine the nutritional status of peach trees. **Acta Horticulturae**, v. 721, p. 285-290, 2006.
- LAGATU, H.; MAUME, L. Le diagnostic foliaire de la pomme de terre. **Annual Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier**, v. 22, p. 50-158, 1934a.
- LAGATU, H.; MAUME, L. Recherches sur le diagnostic foliaire. **Annual Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier**, v. 22, p. 257-306, 1934b.
- LEONEL, S.; SOUZA, M. E.; TECCHIO, M. A.; SEGANTINI, D. M. Leaf nutritional levels in peach and nectarine grown in subtropical climate. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 752-761, 2011.
- MAGNANI, M.; FREIRE, C. J. S.; CHOER, E. **Manual para análise foliar: pessegueiro**. 3.ed. Pelotas: Embrapa -CPACT, 1997. 9 p. (Embrapa CPACT. Documentos, 33).
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 638p. 2006.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 674p.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143 - 168.
- MAYER, N. A.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; ROTH, F. M.; UENO, B.; NAVA, G.; ANTUNES, L. E. C.; VALGAS, R. A. Leaf nutrient content of 'Jade' peach grafted on 22 clonal rootstock and in own-rooted trees. **Comunicata Scientiae**, v.14, p. e3983, 2023.
- MAYER, N. A.; UENO, B.; SILVA, V. A. L. Teores de nutrientes foliares de pessegueiro em cinco porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 4, p. 1045-1052, 2015.
- MAYER, N.A.; PEREIRA, F.M.; BARBOSA, J.C.; KOBAYASHI, V.Y. Distribuição do sistema radicular do pessegueiro 'Okinawa' propagado por sementes e por estacas herbáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 699-704, 2007.
- MELO, G. W. B.; ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G.; LATTUADA, D.S. Discriminant analysis in the selection of groups of peach cultivars. **Acta Horticulturae**, v. 1217, p. 335-342, 2018.
- MONGE, E.; MONTAÑÉS, L.; VAL, J.; SANZ, M. A comparative study of the dop and the DRIS methods, for evaluating the nutritional status of peach trees. **Acta Horticulturae**, v. 383, 1995.
- MOURA-BUENO, J.M.; GRANDO, D.L.; KOKKONEN, A.A.; BENETTI, A.; SCHEMMER, S. **Segunda aproximação de recomendações de calagem e adubação para solos da Serra Gaúcha**

**do Rio Grande do Sul.** Boletim Técnico, UFSC. 2025. 31p.

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/271478>

NATALE, W.; BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; MELO, G. W. B.; CORRÊA, M. C. M.; LIMA NETO, A. J. Amostragem e preparo de amostras de solo e folhas em frutíferas. In: BRUNETTO, G. et al. (Eds.). **Atualização sobre calagem e adubação em frutíferas**, p. 32–44. Porto Alegre: NRS-SBCS / Gráfica e Editora RJR, 2020.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, 2007.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1136-1145, 2008.

NATALE, W.; ROZANE, D. E. **Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas**. 1. ed. Registro - SP: Unesp, 2018. v. 1. 124p.

NAVA, G.; FREIRE, C. J. S.; MAGNANI, M. Adubação e calagem. In: RASEIRA, M. C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Eds.). **Cultivo do pessegueiro**. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022a. p. 30-39 (Sistemas de Produção / Embrapa Clima Temperado).

NAVA, G.; REISSER JÚNIOR, C.; PARENT, L.-É.; BRUNETTO, G.; MOURA-BUENO, J. M.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; BARRETO, C. F. Esmeralda peach (*Prunus persica*) fruit yield and quality response to nitrogen fertilization. **Plants**, v. 11, p. 352, 2022b.

PARENT, L.E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 321-334, 2011.

PETRY, H. B.; MAZURANA, M.; MARODIN, G. A. B.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C.; SCHWARZ, S. F. Root distribution of peach rootstocks affected by soil compaction and acidity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. e0150135, 2016.

RENGEL, Z.; CAKMAK, I.; WHITE, P. J. (Eds.). **Marschner's Mineral Nutrition of Plants**. 4 ed., Elsevier, 2023, 817p.

SERRA, S.; ANTHONY, B.; MASIA, A.; GIOVANNINI, D.; MUSACCHI, S. Determination of biochemical composition in peach (*Prunus persica* L. Batsch) accessions characterized by different flesh color and textural typologies. **Foods**, v. 9, p. 1452, 2020.

SOBIERAJSKI, G. R.; BLAIN, G. C.; TEIXEIRA, L. A. J.; MAYER, N. A. Vegetative growth and foliar nutrient contents of peach on different clonal rootstocks. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. e02043, 2021.

VEERAPPAN, K.; NATARAJAN, S.; CHUNG, H.; PARK, J. Molecular insights of fruit quality traits in peaches, *Prunus persica*. **Plants**, v. 10, p. 2191, 2021.

ZHOU, Q.; MELGAR, J. C. Tree age influences nutrient partitioning among annually removed aboveground organs of peach. **HortScience**, v. 55, n. 4, p. 560-564, 2020.

## Capítulo 5

# Estimativa de nutrientes em folhas de pessegueiro por espectroscopia Vis-NIR-SWIR

Jean Michel Moura-Bueno<sup>(1)</sup>  
Jacson Hindersmann<sup>(2)</sup>  
Adriele Tassinari<sup>(3)</sup>  
Bruna Trevizan Paese<sup>(4)</sup>

### Resumo

A avaliação do estado nutricional de pessegueiros é fundamental para subsidiar a tomada de decisão quanto à adubação, sendo a análise foliar uma ferramenta diagnóstica indispensável no manejo nutricional de frutíferas perenes. Tradicionalmente, a determinação da concentração de nutrientes em folhas é realizada por métodos destrutivos, como digestões úmidas e técnicas baseadas em combustão seca. Embora apresentem elevada precisão analítica, esses métodos demandam tempo, uso de reagentes químicos, múltiplos equipamentos, mão de obra especializada e ainda geram resíduos potencialmente poluentes. Como alternativa, destaca-se a técnica baseada em sensores e espectroscopia nas regiões do visível (Vis), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas

---

<sup>(1)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: bueno.jean1@gmail.com

<sup>(2)</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: jacsonjh7@gmail.com

<sup>(3)</sup>Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: tassinaridrica@gmail.com

<sup>(4)</sup>Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciência do Solo, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: brunatpaese@hotmail.com

(SWIR), que permitem a predição da concentração de nutrientes de forma rápida, não destrutiva e com menor impacto ambiental. A técnica da espectroscopia Vis–NIR–SWIR tem demonstrado elevado potencial, sobretudo quando associada a métodos de aprendizado de máquina e modelagem multivariada, ampliando a capacidade preditiva e a aplicabilidade em condições de campo. Apesar dos avanços, a aplicação dessas metodologias ainda enfrenta desafios importantes, como a necessidade de construção de bibliotecas espectrais robustas e representativas de regiões de cultivo e/ cultivares, padronização de protocolos de aquisição e pré-processamento espectral, além da calibração e validação de modelos específicos para cada cultura, região e condição edafoclimática. Nesse contexto, o presente capítulo discute o uso da espectroscopia Vis-NIR-SWIR na estimativa de nutrientes em folhas de pessegueiro, enfatizando seus fundamentos teóricos, vantagens operacionais, limitações técnicas e potencial de aplicação no manejo nutricional. Também são apresentadas perspectivas futuras, incluindo a ampliação e integração de bancos de dados espectrais, o fortalecimento de modelos regionais e a difusão da técnica como ferramenta complementar e, em determinados cenários, alternativa aos métodos laboratoriais tradicionais em análises de rotina.

Palavras-chave: Reflectância espectral, aprendizado de máquina, banco de dados, fruticultura.

## **1. Introdução**

A cultura do pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch), originária do Noroeste da China, destaca-se mundialmente entre as principais frutíferas de clima temperado, ocupando a segunda posição em volume de produção global (FAOSTAT, 2024). No Brasil, em 2023, a produção nacional de pêssegos alcançou um total de 200.710 toneladas, cultivadas em 15.627 hectares, com valor estimado em R\$ 646,8 milhões (IBGE, 2023). A maior parte da produção nacional está concentrada no estado do Rio Grande do Sul (RS), respondendo por 65,2% do

total produzido; com valor bruto gerado de produção de R\$ 348 milhões (IBGE, 2023). Além disso, o RS representa 74,6% da área nacional destinada ao cultivo do pessegueiro, destacando-se dois polos produtivos com características distintas: o Sul, notadamente os municípios de Pelotas e Canguçu, voltados à produção industrial, e a Serra Gaúcha, dedicada principalmente ao mercado de consumo *in natura*. Nesta última região, Pinto Bandeira se sobressai como o maior produtor estadual de pêssegos de mesa, com 1.000 hectares cultivados e produtividade média de 18,7 t ha<sup>-1</sup> (Belarmino & Navarro-Pabsdorf, 2022).

Apesar da expressiva relevância do Brasil no contexto da fruticultura temperada, a produtividade média nacional do pessegueiro (12,8 t ha<sup>-1</sup>) ainda se mantém significativamente inferior à observada em países produtores, como Itália, França e Estados Unidos, nos quais os rendimentos praticamente dobram esse valor (FAOSTAT, 2024). Entre os fatores que explicam esse descompasso, destacam-se as condições edáficas dos pomares, geralmente estabelecidos em solos com elevada acidez e baixa fertilidade natural. Nessas condições, práticas como calagem e adubações tornam-se necessárias para corrigir limitações químicas e garantir maior eficiência produtiva. Tradicionalmente, a análise de solo tem sido a base para o diagnóstico da disponibilidade de nutrientes, mas a análise de folhas também se consolidou como ferramenta complementar essencial no monitoramento do estado nutricional e no ajuste de recomendações de adubação (Prado & Rozane, 2020).

No Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, o sistema oficial de recomendação de calagem e adubação para frutíferas (CQFS-RS/SC, 2016) estabelece doses e critérios de manejo baseados tanto em análises de solo quanto em diagnósticos foliares, associados à expectativa de produtividade. Esse modelo tem impulsionado a demanda por análises de tecido, ampliando a importância do diagnóstico foliar no manejo nutricional de frutíferas. Contudo, os métodos convencionais utilizados para determinar nutrientes como N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas apresentam limitações significativas. As técnicas mais

empregadas — digestão seca em analisador elementar, digestão úmida em bloco digestor, digestão úmida em forno micro-ondas e combustão iniciada por micro-ondas (MIC-DV) — envolvem etapas laboriosas, uso de reagentes químicos agressivos, risco de geração de resíduos tóxicos, alto custo e longo tempo de execução (Duarte et al., 2020; Embrapa, 2009; Osco et al., 2020; Pascoa et al., 2016; Tedesco et al., 1995; Zahir et al., 2022).

Diante dessas limitações, cresce a demanda por técnicas alternativas de diagnóstico nutricional mais sustentáveis, rápidas e de menor custo. Métodos não destrutivos, como o uso de sensores capazes de estimar nutrientes *in situ*, têm se mostrado promissores por eliminarem a necessidade de coleta de folhas e preparo de amostras, além de não gerarem resíduos químicos (Pascoa et al., 2016; 2018; Zhu et al., 2025). Nesse contexto, a espectroscopia nas regiões do visível (Vis), infravermelho próximo (NIR) e ondas curtas (SWIR) apresenta elevado potencial para substituir ou complementar as análises químicas tradicionais na determinação de nutrientes em folhas.

A espectroscopia Vis-NIR-SWIR já vem sendo amplamente aplicada em estudos de solo e tecido vegetal, demonstrando eficiência na predição de propriedades físicas, químicas e bioquímicas (Jacquemoud & Ustin, 2019; Ling et al., 2019; Naibo et al., 2024; Rotbart et al., 2013; Zahir et al., 2024; Naibo et al., 2025; Zhu et al., 2025; Corrêa et al., 2026). No solo, essa técnica tem mostrado resultados consistentes na estimativa de atributos como matéria orgânica e carbono orgânico (Nocita et al., 2015; Moura-Bueno et al., 2020), enquanto em tecidos vegetais sua aplicação abrange desde a predição de teor de água e pigmentos (Neto et al., 2017; Singh et al., 2022; Zhu et al., 2025), até proteína e concentrações minerais (Acosta et al., 2023; Gonzáles-Martín et al., 2007; Menesatti et al., 2010; Rodrigues et al., 2020).

A combinação das faixas do visível e do infravermelho próximo é especialmente útil para análises foliares, pois captura alterações associadas tanto à pigmentação (clorofila, carotenoides, antocianinas) quanto à estrutura celular do

mesófilo (Lowe et al., 2017; Zhu et al., 2025). Como consequência, os espectros obtidos nessa faixa são sensíveis a grupos funcionais de compostos orgânicos essenciais, permitindo estimativas precisas de parâmetros bioquímicos como clorofila, nitrogênio e teor de água nas folhas (Zahir et al., 2022; Zhu et al., 2025). Assim, a espectroscopia Vis-NIR-SWIR configura-se como uma alternativa promissora para o diagnóstico nutricional do pessegueiro, oferecendo maior agilidade, sustentabilidade e resolução espacial e temporal quando comparada aos métodos convencionais.

## **2. Espectroscopia na região do Vis-NIR-SWIR**

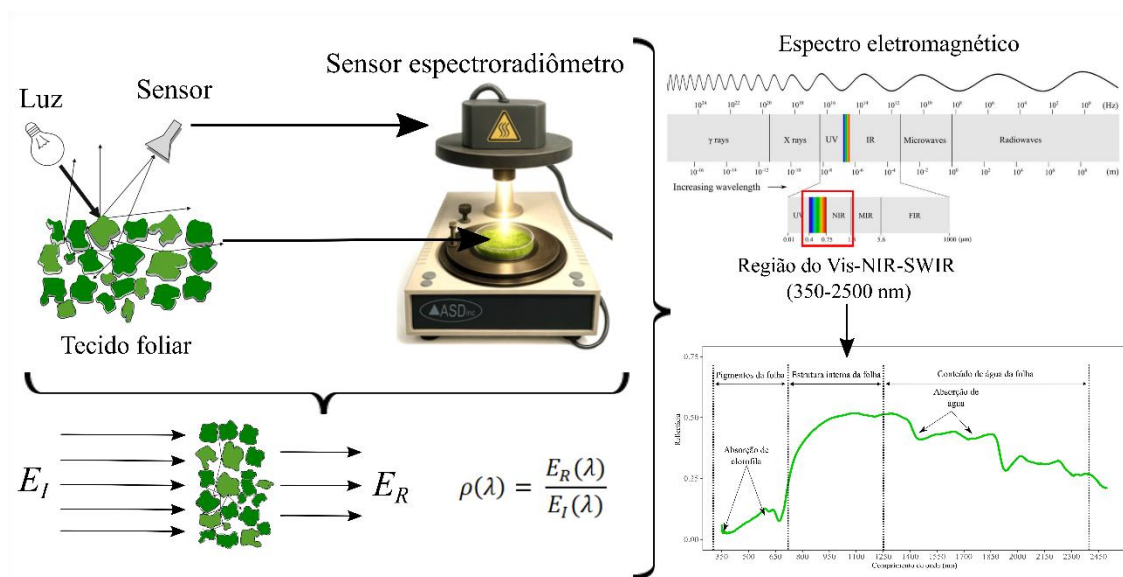
### ***2.1 Princípios da espectroscopia***

A espectroscopia é uma técnica espectroscópica que pode ser usada para analisar materiais sólidos, líquidos e gasosos, em que é medido a interação entre a energia, na forma de radiação eletromagnética refletida, e a matéria (Gupta et al., 2023). A técnica de espectroscopia é empregada por décadas para identificar, compreender e quantificar os constituintes de materiais sólidos, líquidos e gasosos.

Na espectroscopia de reflectância difusa a luz é refletida de forma difusa após incidir sobre um objeto, por exemplo, uma folha ou amostra de tecido vegetal (Figura 1). A interação da radiação eletromagnética com a matéria depende das propriedades específicas desta, com base nos fundamentos da Lei de Beer-Lambert (Sherman, 1997). Esta lei é a base da espectrofotometria, a qual explica que a quantidade de luz absorvida ou transmitida por um determinado objeto depende de sua composição química. As informações obtidas de determinado objeto apresentam um comportamento espectral característico, que está relacionado com a interação da radiação eletromagnética incidente, onde certas frequências são absorvidas pelas moléculas da amostra, levando a vibrações moleculares (Sherman, 1997). Nesse processo, parte da radiação pode ser absorvida, emitida ou dispersada pela matéria em diferentes comprimentos de onda do espectro

eletromagnético. A reflectância espectral [ $\rho(\lambda)$ ] é função do comprimento de onda ( $\lambda$ ), sendo definido matematicamente como a razão entre a energia do comprimento de onda ( $\lambda$ ) refletida pelo objeto [ $E_R(\lambda)$ ] e a energia do comprimento de onda ( $\lambda$ ) incidente sobre o objeto [ $E_I(\lambda)$ ], como mostra a equação na figura 1.

Cada objeto possui elétrons distribuídos em seu material em diferentes níveis energéticos e absorvem certas quantidades de energia da radiação eletromagnética, cuja quantidade de radiação refletida e absorvida pelo material pode ser medida e analisada em faixas do espectro eletromagnético (Figura 1). A espectroscopia pode operar dentro de diferentes faixas de frequência, a depender do processo em estudo e da magnitude da energia. A maior parte dos estudos e aplicações da técnica de espectroscopia empregando amostras de tecido vegetal contemplam as regiões do visível (Vis: 350-700 nm), infravermelho próximo (NIR: 700-1000 nm) e infravermelho de ondas curtas (SWIR: 1000-2500 nm) (Sherman, 1997, “Jensen”, 2011, Ge et al., 2019). A região do Vis é a faixa percebida pelo olho humano e inclui as bandas do Azul ~450 nm, Verde ~550 nm e Vermelho ~650 nm, sendo essas muito usadas para análises visuais, índices como RGB (Red-Green-Blue) e composição colorida verdadeira. O NIR é importante para estudos de vegetação, pois a refletância das plantas é alta nessa faixa. O SWIR é sensível ao teor de água em solo e vegetação, mineralogia, e propriedades físico-químicas do solo.



**Figura 1.** Ilustração mostrando o uso da técnica de espectroscopia em folhas na região do Vis-NIR-SWIR (350-2500 nm) do espectro eletromagnético. Fonte: Adaptado de Moura-Bueno (2025).

A porcentagem de luz incidente que é refletida em um objeto, por exemplo amostras de tecido vegetal, nos diferentes comprimentos de onda constitui o comportamento espectral da folha de uma cultura em específico (Figura 1). O comportamento da assinatura espectral da folha depende diretamente da composição química da mesma. O termo “assinatura espectral” é o padrão de resposta espectral único, que é característico de cada material que está sendo analisado pela técnica de espectroscopia.

Quando a radiação atinge a amostra, parte da luz que entra pode ser transmitida, absorvida ou refletida (Walsh et al., 2020), sendo que a luz resultante dessa interação poderá ser quantificada em um detector, gerando assim, uma assinatura espectral da amostra (Pu et al., 2020). A parte de luz que é transmitida se refere à quantidade de luz que passa inteiramente pela amostra e atinge o detector, enquanto a absorbância se refere a uma medida da quantidade de luz que uma amostra absorve (Zahir et al., 2022).

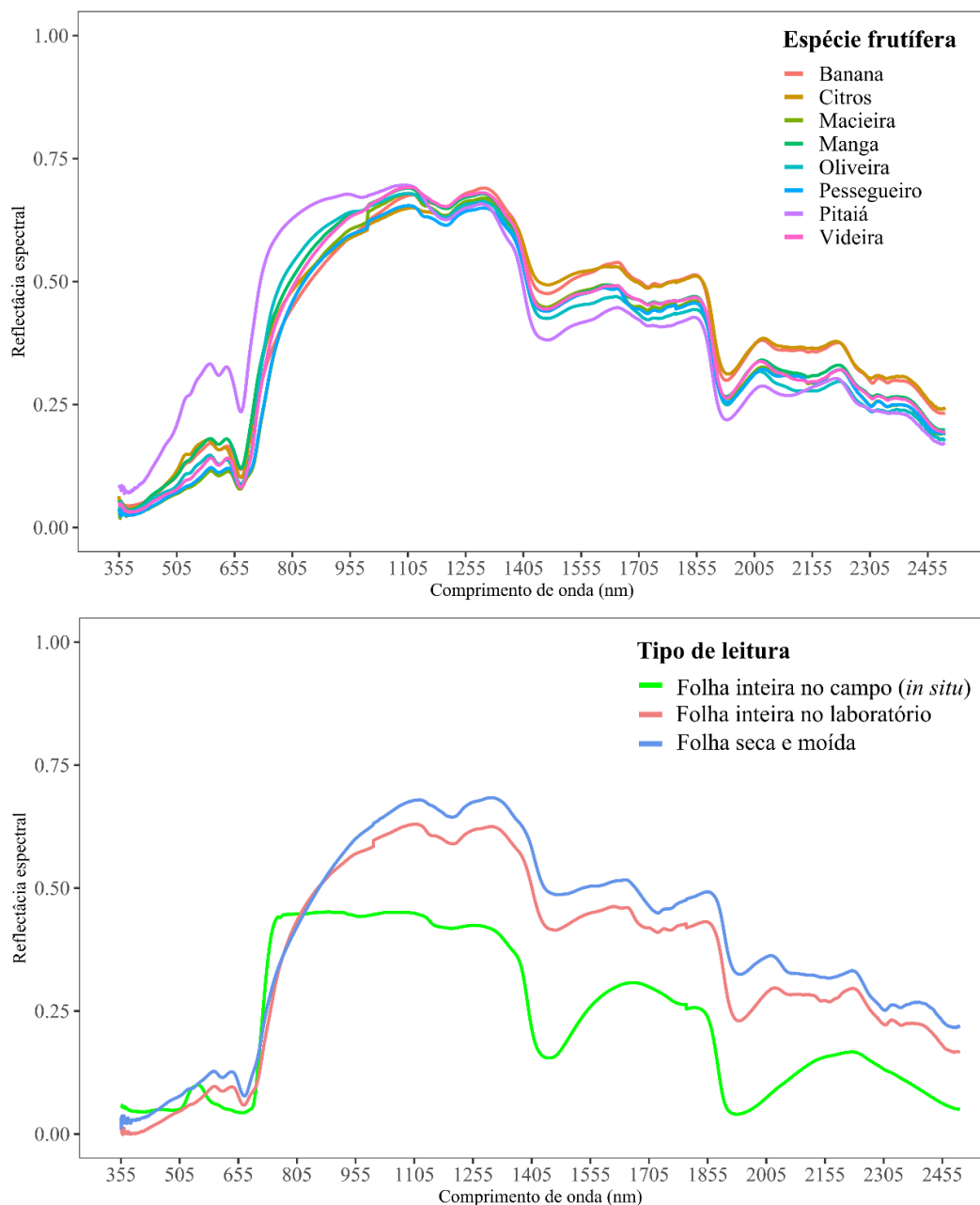
Com relação à aplicação da técnica de espectroscopia na região do Vis-NIR-SWIR em amostras de tecido vegetal, esta possibilita identificar as alterações

bioquímicas que resultam em variações da atividade fotossintética, da estrutura celular e da estabilidade das ligações químicas, promovendo assim, alterações na reflectância (Ling et al., 2019). Na análise espectral em folhas, as regiões espectrais do Vis-NIR-SWIR têm sido muito utilizadas (Jacquemoud & Ustin, 2019; Ling et al., 2019; Zhu et al., 2025). As análises espectrais que utilizam estas regiões espectrais são baseadas nas características espectrais resultantes da absorção de energia eletromagnética por uma diversidade de ligações químicas na matéria orgânica da folha (Ling et al., 2019). A espectroscopia na região do Vis possibilita examinar a análise de cor e pigmento, enquanto a região do NIR-SWIR pode medir os macrocomponentes de uma amostra, principalmente a água (Walsh et al., 2020). A absorção na região do Vis está relacionada ao conteúdo de clorofila, antocianinas e carotenoides, enquanto o conteúdo de água está associado à região do NIR-SWIR. A reflectância no espectro na região do Vis geralmente é menor (Figura 2), resultado da absorção da energia pelos pigmentos da folha (Zahir et al., 2022; Zhu et al., 2025).

Em plantas, as faixas de comprimento de onda mais úteis para análise são a faixa do Vis-NIR-SWIR (Lowe et al., 2017). Os tecidos vegetais possuem valores diferentes de reflectância para cada comprimento de onda na faixa no Vis-NIR-SWIR, sendo que para cada espécie de planta o espectro de reflectância é único (Figura 2a) (Prananto et al., 2020). Da mesma forma, o tipo de leitura (em laboratório ou no campo) e amostra de tecido vegetal (folha inteira *in natura* e folha seca e moída) também influencia o comportamento espectral (Figura 2b). Isso ocorre porque as amostras de tecido vegetal interagem de maneira específica com a radiação eletromagnética ao longo das diferentes regiões do espectro, em função de suas propriedades físico-químicas e estruturais. Como resultado, cada amostra apresenta um padrão característico de absorção, reflexão e transmitância, constituindo uma assinatura espectral própria (Jacquemoud & Ustin, 2019).

Os espectros da faixa do Vis-NIR-SWIR são de difícil interpretação e atribuição devido às bandas de absorção amplas e altamente sobrepostas (Pasquini,

2018). Sendo assim, algum tipo de análise de dados que considere as mudanças no todo ou em uma porção significativa do espectro em função das alterações no conteúdo da amostra, necessita ser empregado para gerar resultados analíticos úteis (Pasquini, 2018). Isso pode ser obtido com a implementação de técnicas de análise multivariadas de dados aplicadas a dados químicos (Pasquini, 2018). Segundo Pasquini (2018), a análise de dados espectroscópicos é composta pelas etapas: i) pré-processamento dos espectros, ii) análise exploratória dos dados e iii) calibração e validação de modelos preditivos. O objetivo dessas etapas é relacionar as respostas espectrais às propriedades químicas das amostras, como a concentração de nutrientes ou teor de água, com alta precisão e robustez estatística (Dos Santos et al., 2023). A literatura mostra uma grande adoção da espectroscopia na análise do conteúdo de nutrientes em espécies vegetais (De Carvalho et al., 2015; Naibo et al., 2024, 2025; Zahir et al., 2024; Zhu et al., 2025; Corrêa et al., 2026).



**Figura 2.** Assinatura espectral típica de tecidos vegetais (folhas) de diferentes frutíferas (a) e folhas de pessegueiro com leituras espectrais realizadas em três condições (folha inteira no campo, folha inteira no laboratório, folha seca-moída) nas regiões espectrais do visível (Vis) e do infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR). Fonte: Adaptado de Moura-Bueno (2025).

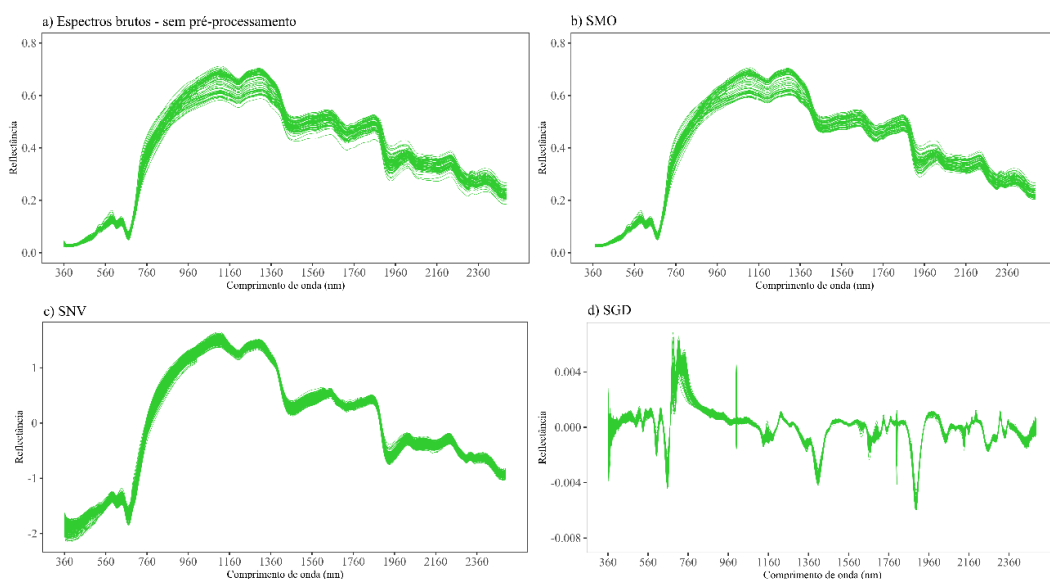
## ***2.2 Pré-processamentos de dados espectrais de folhas***

Na análise dos dados espectrais, o uso de métodos de pré-processamento é considerado uma etapa muito importante para se estabelecer uma boa calibração do modelo preditivo (Zahir et al., 2022), e é considerada a etapa mais importante antes da modelagem (Rinnan et al., 2009). O principal objetivo desta operação é remover ou minimizar as principais fontes de variabilidade espectral, presente nos dados e não associadas ao objetivo dos modelos qualitativos ou quantitativos, e melhorar a seletividade (Pasquini, 2018). O uso de pré-processamentos nos dados espectrais é uma importante etapa da mineração de dados, em que converte os dados brutos em um conjunto útil de dados que podem ser usados posteriormente para o desenvolvimento de modelos preditivos (Zahir et al., 2022). Geralmente, existem diversas fontes de variabilidade indesejadas nos espectros, como por exemplo o ruído de fundo, a dispersão de luz, a mudança e tendência da linha de base e as diferenças na geometria das amostras (Pasquini, 2018). Dessa forma, as etapas de pré-processamentos devem ser realizadas visando remover o ruído de fundo e os efeitos da linha de base, seguido da correção da discrepância da amostra (Zahir et al., 2022).

O uso de pré-processamento dos dados espectrais antes da modelagem é muito utilizado para melhorar a previsão do modelo, removendo ruídos e não linearidades presentes no espectro, além de detectar padrões nos dados espectrais e destacar as características de interesse (Rinnan et al., 2009) (Figura 3). Como cada método de pré-processamento funciona de forma diferente, é de suma importância encontrar o método mais adequado, que forneça o melhor modelo para calibração e validação dos dados (Zahir et al., 2022). Assim, durante a análise de dados de espectroscopia, é importante escolher o método de pré-processamento mais adequado, evitando muita suavização, o que pode levar ao ajuste excessivo dos dados, onde um modelo que está sendo exposto a um polinômio de alto grau ou com elevada suavização pode detectar ruídos desnecessários, possibilitando erros

enganosos durante o desenvolvimento do modelo de validação (Zahir et al., 2022, 2024; Zhu et al., 2025).

Segundo Rinnan et al. (2009), os métodos de pré-processamento para tratar os dados podem ser categorizados em derivadas espectrais e métodos de correção de dispersão, sendo que ambos os métodos aplicam a suavização aos espectros antes do cálculo das derivadas, buscando reduzir o problema da relação sinal-ruído. Entre os métodos mais utilizados, destacam-se os com aplicação de derivadas. A diferença entre os métodos de correção de derivadas e de dispersão é que as derivadas removem os efeitos da linha de base nos dados, enquanto a correção de dispersão reduz os efeitos de dispersão (Zahir et al., 2022). Alguns dos métodos de pré-processamentos mais utilizados são: suavização - *smoothing* (SMO), *Standard Normal Variate* (SNV) e a primeira derivada com suavização de *Savitski-Golay* (SGD) (Figura 3).



**Figura 3.** Curvas espectrais de 200 amostras de folhas de pessegueiro (a) dados brutos - sem pré-processamento e submetidas à técnica de pré-processamento espectral de (b) suavização – SMO, (c) *Standard Normal Variate* – SNV e (d) primeira derivada de *Savitzky-Golay* – SGD. Fonte: Os autores.

Em resumo, a aplicação do pré-processamento SGD visa remover efeitos aditivos e variações de linha de base, reduzir a influência de espalhamento da luz, separar bandas espectrais sobrepostas e evidenciar mudanças abruptas na reflectância associadas à composição química. No entanto, o SGD pode aumentar a sensibilidade ao ruído, razão pela qual a escolha adequada da janela móvel (por exemplo, 5, 9 ou 11 bandas) de suavização é crucial. Somado a isso, estudos mostram que pré-processamentos baseados em derivadas e correções de espalhamento nem sempre melhoram a predição da variável alvo da modelagem, e que a técnica de *smoothing* – SMO é frequentemente preferível em dados heterogêneos (Stenberg et al., 2010; Nocita et al., 2015, Corrêa et al., 2026).

### ***2.3 Calibração de modelos de predição de nutrientes em folhas***

O avanço da capacidade computacional em processar dados associados a métodos de aprendizado de máquina – *machine learning* tem potencializado a construção de modelos de predição de nutrientes de folhas, a partir de modelos que estabelecem correlações entre a análise química tradicional (digestão úmida com emprego de ácidos fortes) e dados espectrais de reflectância de amostras de folhas (Dos Santos et al., 2023; Zhu et al., 2025). A calibração de modelos preditivos é baseada na construção de modelos matemáticos que relacionam variáveis independentes a uma variável dependente de interesse, permitindo a análise, previsão ou estimativa dessa variável dependente com base nas informações multivariadas disponíveis (Varmuza & Filzmoser, 2009). Na espectroscopia, o processo de calibração visa converter a informação espectral em informação química da amostra foliar através de modelos estatísticos multivariados (Mark et al., 2002). A robustez do modelo de calibração influencia diretamente o desempenho preditivo da espectroscopia Vis-NIR-SWIR na estimativa de propriedades químicas foliares, uma vez que a modelagem multivariada depende da correta associação entre variações espectrais e a concentração dos nutrientes

presentes no tecido vegetal (Mark et al., 2002; Nicolai et al., 2007; Jacquemoud & Ustin, 2019).

No processo de modelagem, geralmente são necessários dois conjuntos de dados: calibração e validação (Prananto et al., 2020). A calibração refere-se ao processo de estabelecer uma relação matemática entre as variáveis independentes (ou preditoras) e a variável dependente com base em um conjunto de amostras de calibração. Esse processo envolve a seleção adequada do modelo estatístico, ajuste dos parâmetros do modelo e estimativa das relações entre as variáveis. A calibração visa construir um modelo que seja capaz de descrever e capturar as relações presentes nos dados (Mark et al., 2002; Nicolai et al., 2007; Jacquemoud & Ustin, 2019). A validação dos modelos, por outro lado, é o processo que avalia a capacidade e a qualidade do modelo construído durante a calibração. Ela envolve o uso de um conjunto de amostras independentes, denominado conjunto de validação, que não foi usado durante a calibração. O objetivo da validação é verificar se o modelo é capaz de fornecer resultados precisos e confiáveis para novas amostras (Mark et al., 2002).

Vários métodos de *machine learning* são utilizados para o desenvolvimento e calibração de modelos preditivos, entre eles destacam-se, regressão por mínimos quadrados parciais – *Partial Least Squares Regression* (PLSR), que tem se destacado devido à sua simplicidade e robustez (Zhu et al., 2025), máquina de vetor de suporte – *Support Vector Machine* (SVM), floresta aleatória – *Random Forest* (RF) (Pasquini, 2018; Viscarra Rossel & Behrens, 2010) e *Cubist* (Quinlan, 1992).

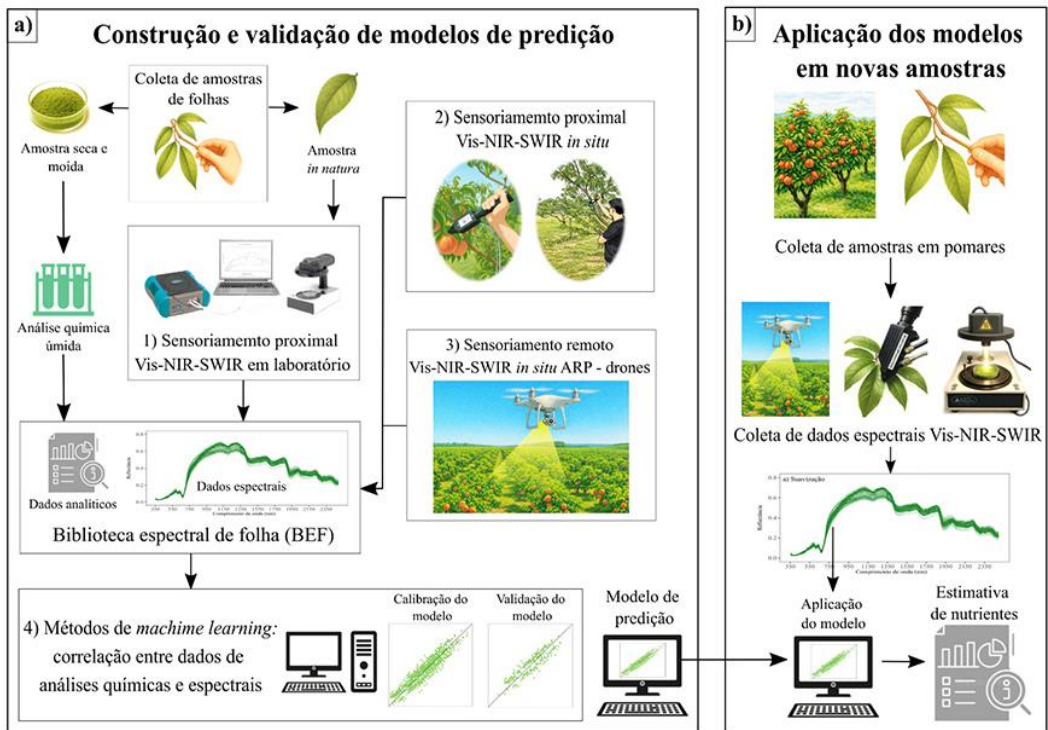
Para avaliar a acurácia e a qualidade de ajuste dos modelos de predição, nas etapas de calibração e validação, são utilizados indicadores como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a raiz quadrada do erro médio (RMSE), a razão entre desempenho e distância interquartil (RPIQ) e o erro médio absoluto (MAE) (Zhu et al., 2025). O parâmetro  $R^2$  mede a qualidade de ajuste em que representa o nível de variabilidade explicada contabilizado pelo modelo, em que  $R^2$  próximo a 0

indica nenhuma relação entre os valores espectrais previstos e os valores laboratoriais medidos, enquanto  $R^2$  próximo a 1 indica alta relação entre os valores previstos e medidos (Johnson et al., 2021). O RMSE avalia as diferenças entre os valores previstos e os valores medidos e quantifica a precisão comparando os erros de previsão de diferentes modelos (Johnson et al., 2021). Já o RPIQ considera o erro de previsão em relação à variação dos valores medidos (Johnson et al., 2021). O MAE é a soma dos valores absolutos dos erros dividido pelo número de observações, representando as diferenças médias entre os dados previstos e medidos do modelo, ou seja, o MAE quantifica o quão próximo os valores previstos estão dos valores de referência medidos, dando menos peso aos erros em comparação ao RMSE (Johnson et al., 2021). Adicionalmente, existem também o Coeficiente de Correlação de Concordância (CCC), proposto por Lin (Lin, 1989). O CCC é uma métrica utilizada para avaliar simultaneamente a precisão e a exatidão de modelos de regressão, quantificando o grau de concordância entre valores observados e preditos. Diferentemente do coeficiente de correlação de Pearson ou do  $R^2$ , o CCC considera não apenas a associação linear, mas também o desvio em relação à linha 1:1, sendo especialmente adequado para validação de modelos preditivos.

Em geral, um modelo robusto deve ter um  $R^2$ , CCC e RPIQ elevados e um RMSE e MAE baixos (Bellon-Maurel et al., 2010; Johnson et al., 2021). No entanto, a interpretação e os limites dos indicadores de desempenho do modelo para uma boa previsão e precisão dependem do objetivo. O  $R^2$  é a estatística de desempenho de modelagem mais popular que permite comparar os resultados entre estudos (Johnson et al., 2021), por isso, ela é uma das estatísticas mais utilizadas. Sendo assim, estes cinco parâmetros estatísticos usados na avaliação da qualidade dos modelos de previsão se complementam na busca do modelo de previsão mais acurado.

### 3. Aplicação da espectroscopia Vis-NIR-SWIR na estimativa de nutrientes em folhas

A primeira etapa a ser realizada para que se consiga estimar a concentração de nutrientes em amostras de folhas é a compilação de banco de dados, sendo este composto por leituras espectrais e dados de concentração de nutrientes em amostras de folhas (Wijewardane et al., 2023), denominado de BEF (Figura 4a). A biblioteca espectral é uma ferramenta de grande importância, pois permite a visualização de certos padrões de similaridade e, também, de variabilidade entre amostras distintas, servindo como fonte de informação para estudos posteriores com a temática da espectroscopia, mas também na aplicabilidade na estimativa de nutrientes em folhas (Figura 4b). Já existem bibliotecas espectrais estabelecidas na literatura, principalmente com estudos relacionados ao solo (Viscarra Rossel et al., 2016; Demattê et al., 2019).



**Figura 4.** Representação das etapas envolvidas no desenvolvimento de modelos de predição a partir de dados espectrais derivados da técnica de espectroscopia Vis-NIR combinada à métodos de machine learning para estimativa de nutrientes em folhas. Fonte: Adaptado de Moura-Bueno (2025).

### ***3.1 Modelos de predição***

A estimativa de características foliares das plantas a partir de dados obtidos por espectroscopia Vis-NIR-SWIR, em geral, é baseada em modelos estatísticos multivariados calibrados a partir de um conjunto de dados compostos por resultados de análise química de laboratório e leituras espectrais obtidas pela técnica de espectroscopia (Wijewardane et al., 2023). Para a obtenção de bons modelos de predição é necessário um número grande de amostras (entre 500 e 1000) que devem ser analisadas em laboratório pelos métodos de referência (Wijewardane et al., 2023). Nota-se que, geralmente, os modelos são calibrados em um conjunto limitado de amostras (uma única espécie de planta, poucos genótipos, um ou dois ambientes), e quando usados em outros conjuntos de dados independentes, apresentam desempenho relativamente menor, se comparado ao seu desempenho inicial (Wijewardane et al., 2023).

Uma possível solução para esse problema seria estabelecer biblioteca espectral de folhas que compreenda um grande número de amostras com dados de laboratório e dados espectrais, e que esteja disponível para a comunidade científica (Wijewardane et al., 2023). Com o estabelecimento de uma biblioteca espectral, é possível utilizar uma abordagem conhecida como ‘*spiking*’, a qual consiste na adição de um número pequeno de amostras ‘locais’ às amostras da biblioteca espectral, possibilitando o aumento na precisão das próximas calibrações para as amostras que possuam as mesmas características das amostras locais incluídas inicialmente (Wijewardane et al., 2023). A biblioteca espectral é uma ferramenta de grande importância na simples comparação descritiva de curvas espectrais para a discriminação de classes dos alvos em estudo (Bellinaso et al., 2010; Moura-Bueno et al., 2025). O estabelecimento de uma biblioteca espectral, composta por um grande banco de dados espectrais, permite a visualização de certos padrões de similaridade e, também, de variabilidade entre amostras distintas, servindo como fonte de informação para estudos posteriores com essa mesma temática.

Em relação aos dados de folhas, existe a necessidade de organizar e compilar bibliotecas espectrais de folhas (BEF) para culturas específicas, pois é a partir de BEF que será possível calibrar e prever a concentração de nutrientes em folhas com acurácia e confiabilidade dos valores preditos. No estado do Rio Grande do Sul existem algumas iniciativas de trabalhos abordando a organização e uso de BEF para a calibração de modelos de predição da concentração de nutrientes em folhas. Nesse cenário, pode-se citar trabalhos como o realizado por Naibo et al. (2024), que a partir de um banco de dados de 111 amostras de folha de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), coletadas em cinco polos produtores de erva-mate do estado do RS, estimaram a concentração de 11 nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) no tecido de folhas, utilizando a técnica espectroscópica do infravermelho médio – MIR, com a faixa do espectro de 2500-25.000 nm, aliada a métodos de aprendizado de máquina. Outro trabalho que estimou a concentração de nutrientes em folhas utilizando BEF foi realizado por Moura-Bueno et al. (2023), a partir de um banco de dados de 647 amostras de folhas de videira, coletadas nas regiões produtoras da Campanha e Serra Gaúcha do estado do RS, possibilitando estimar a concentração de cinco macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) a partir de dados de espectroscopia Vis-NIR-SWIR.

Outro exemplo de aplicação combinada de dados Vis-NIR-SWIR e métodos de *machine learning* para a estimativa de nutrientes em amostras de folhas de frutíferas é mostrado em estudo de Corrêa et al. (2026). Os autores mostram o potencial e limitações na técnica utilizando BEF de folha de banana (n = 363), manga (n = 239) e videira (n = 336). Nos espectros de folhas foram aplicadas técnicas de pré-processamento espectral — suavização (SMO) e primeira derivada de Savitzky-Golay (SGD) — juntamente com métodos de aprendizado de máquina PLSR e RF. A maior precisão (CCC > 0,80 e MSE < 2 g kg<sup>-1</sup>) foi alcançada para Ca em banana, P em manga e N e Ca em videira, considerando ambos os métodos de aprendizado de máquina e técnicas de pré-processamento. Os modelos preditivos calibrados para a ‘Videira’ apresentaram a maior precisão

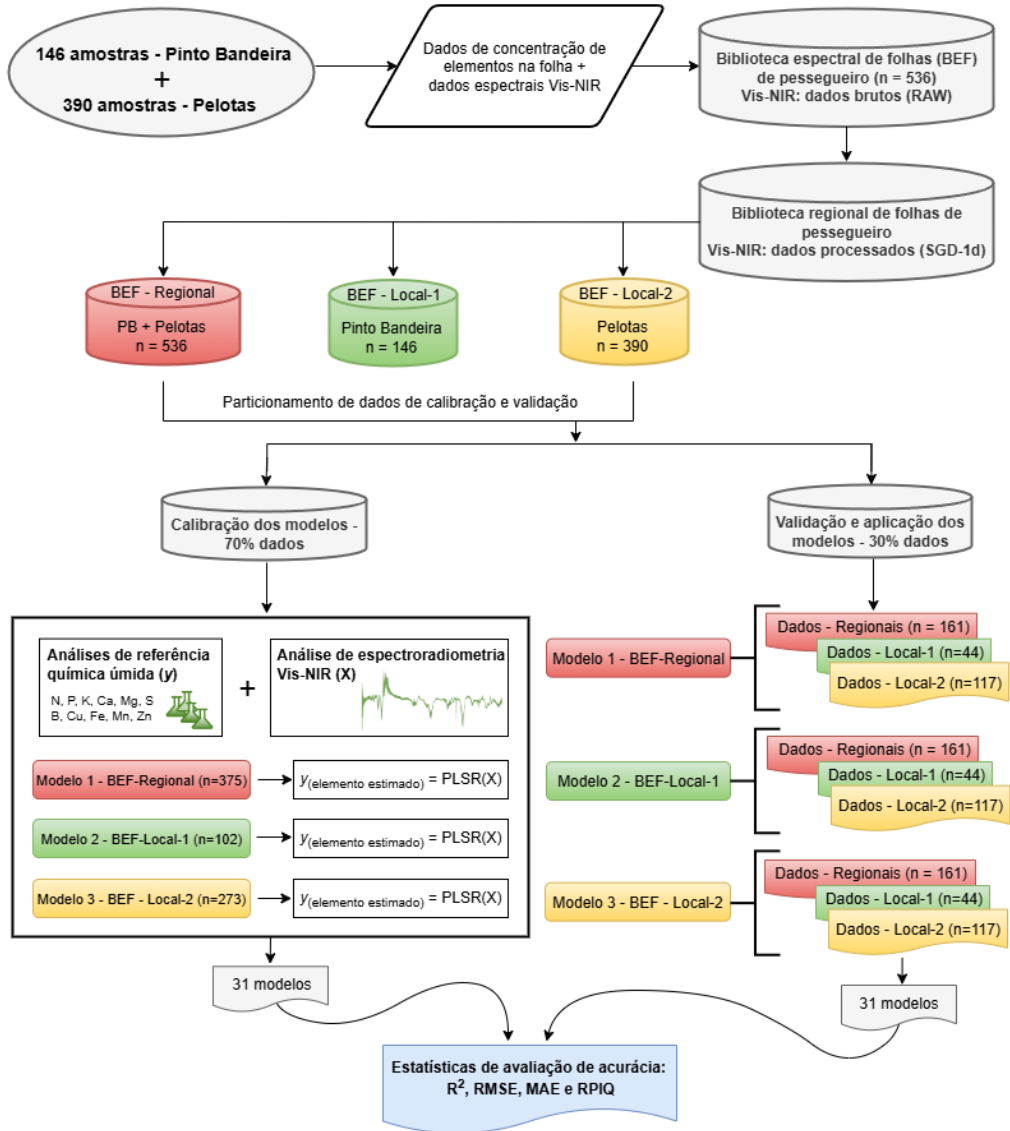
— caracterizada por valores de CCC mais altos e valores de MSE mais baixos — quando comparados aos modelos desenvolvidos para ‘Manga’ e ‘Banana’. As altas amplitudes e variações nos níveis de nutrientes, combinadas com grandes desvios padrão, afetaram negativamente o desempenho preditivo dos modelos.

Em geral, os estudos mostram a necessidade de calibrações adicionais baseadas em bancos de dados mais robustos e representativos, incorporando um número maior de amostras ( $n \geq 500$ ), de diferentes cultivares e de múltiplas regiões do Brasil, bem como de outras regiões produtoras em todo o mundo, a fim de aumentar a representatividade das BEF e dos modelos preditivos. Além disso, a avaliação de domínios espectrais alternativos, como a região do infravermelho médio (MIR) (2500–25.000 nm), deve ser explorada, visto que esses comprimentos de onda podem fornecer informações complementares não capturadas na faixa Vis-NIR-SWIR (Türker-Kaya & Huck, 2017). Em conjunto, esses avanços apoiarão o desenvolvimento de protocolos padronizados para a implementação desta técnica em laboratórios comerciais.

### ***3.2 Modelos de predição aplicados na estimativa de nutrientes em folhas de pessegueiro***

Estudo recente realizado com a cultura do pessegueiro na região de Pinto Bandeira e Pelotas no RS, mostra o potencial da combinação de dados Vis-NIR-SWIR e *machine learning* para a predição dos nutrientes em folhas (Hindersmann et al., 2026). Este estudo mostrou o emprego de duas abordagens de calibração de modelos de predição a partir de uma Biblioteca Espectral de Folhas – BEF composta por 536 amostras de três cultivares de pessegueiro. A primeira abordagem envolveu a calibração de um modelo denominado modelo regional (Modelo 1) a partir da BEF – Regional (dados de Pinto Bandeira - PB + Pelotas - Pel), composta pelas 536 amostras; a segunda abordagem envolveu a calibração de modelos locais a partir da subdivisão da BEF – Regional em sub-bibliotecas locais,

sendo o modelo Local-1 (Modelo 2: dados de Pinto Bandeira - PB, n = 146) e modelo Local-2 (Modelo 3: dados de Pelotas - Pel, n = 390) (Figura 5).



**Figura 5.** Fluxograma das etapas realizadas para organização da BEF, calibração e validação dos modelos de predição das concentrações dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de pessegueiros cultivados nos municípios de Pinto Bandeira e Pelotas, RS. Fonte: Hindersmann et al. (2026).

Os resultados mostraram que as maiores acurácias ( $R^2 \geq 0,75$ ), ou seja, os modelos nos quais as concentrações de cada nutriente estimadas para as folhas de pessegueiro ficaram mais próximas das concentrações obtidas pelo método de referência (análise química úmida), foram obtidas para as seguintes combinações “nutriente + modelo”: P ‘PB’, K ‘PB’, Ca ‘PB’ e Ca ‘PB + Pel’, Mg ‘PB’ e Mg ‘Pel’, B ‘PB’ e B ‘PB + Pel’, Cu ‘PB’, Mn ‘Pel’, Zn ‘Pel’ e Zn ‘PB + Pel’. Os modelos com acurácias médias ( $R^2 \geq 0,50$  e  $< 0,75$ ) foram os seguintes: N ‘PB’ e N ‘Pel’ e N ‘PB + Pel’, P ‘Pel’ e P ‘PB + Pel’, K ‘PB + Pel’, Mg ‘PB + Pel’, S ‘PB’, B ‘Pel’, Cu ‘Pel’, Fe ‘PB’, Mn ‘PB’ e Mn ‘PB + Pel’ e Zn ‘PB’. Para os outros modelos K ‘Pel’, Ca ‘Pel’, Cu ‘PB + Pel’ e Fe ‘Pel’ e Fe ‘PB + Pel’, as acurácias foram baixas ( $R^2 < 0,50$ ), sendo modelos não recomendados.

De modo geral, os modelos locais apresentam desempenho satisfatório quando aplicados para dados da mesma área do local para a qual o modelo foi calibrado. Entretanto, para alguns nutrientes, com K para o modelo de ‘PB’ e de Fe, Mn e Zn para o modelo de ‘Pel’, os modelos locais podem também ser aplicados para dados regionais, sendo observados resultados com alta acurácia. Isso demonstra que os modelos locais podem resultar em predições da concentração de nutrientes com maior acurácia que o modelo regional. Mais detalhes sobre os resultados podem ser consultados em Hindersmann et al. (2026).

#### **4. Potencial, limitações e perspectivas futuras da espectroscopia Vis-NIR-SWIR**

A técnica de espectroscopia Vis-NIR-SWIR, aliada a métodos de *machine learning* tem potencial para quantificar de forma rápida e precisa a concentração de nutrientes no tecido vegetal (folhas) de frutíferas e de outras espécies vegetais (Cuq et al., 2019; Galvez-Sola et al., 2015; Guo et al., 2017; Ling et al., 2019; Naibo et al., 2024; Osco et al., 2019; 2020; Pascoa et al., 2016; 2018; Zhu et al., 2025; Corrêa et al., 2026; Hindersmann et al., 2026). Essa técnica permite, a partir de modelos previamente calibrados, prever a concentração de macro e micronutrientes em folhas com a obtenção de apenas um espectro por amostra. É

uma técnica de análise de tecido mais sustentável em comparação ao método químico, possibilitando a mensuração da concentração de nutrientes em folhas de forma rápida, não destrutiva, de baixo custo, além de contribuir para uma menor geração de resíduos químicos.

Por outro lado, a aplicação da espectroscopia Vis-NIR-SWIR na estimativa de nutrientes em tecidos vegetais ainda é incipiente, especialmente em frutíferas perenes, como o pessegueiro. Um dos principais entraves está relacionado à limitada disponibilidade de bancos de dados espectrais – BEF específicos da cultura. Além disso, a técnica ainda apresenta restrições quanto à acurácia das predições, indicando a necessidade de estudos adicionais voltados ao desenvolvimento e à otimização de estratégias de calibração que aproximem as estimativas espectrais daquelas obtidas pelos métodos tradicionais de análise de tecido por química úmida.

Estudos recentes indicam que a baixa a média acurácia das estimativas está associada, principalmente, à escala e à abrangência das bibliotecas espectrais (local ou regional), ao tipo de método de *machine learning* empregado na calibração dos modelos e às características intrínsecas da concentração dos nutrientes nos tecidos analisados, como a variabilidade e o desvio-padrão dos dados. Nesse sentido, a heterogeneidade do conjunto amostral pode introduzir vieses nas estimativas da concentração de nutrientes, comprometendo o desempenho dos modelos baseados em espectroscopia Vis-NIR-SWIR (Bellon-Maurel et al., 2010; Osco et al., 2020; Zhu et al., 2025; Corrêa et al., 2026).

Estudos devem focar na aplicação e na avaliação do desempenho dessa técnica e na predição da concentração de nutrientes foliares, considerando diferentes escalas espaciais (local e regional), outras culturas agrícolas, bem como a incorporação da faixa espectral do infravermelho médio (MIR), que apresenta elevado potencial para capturar informações relacionadas a ligações químicas fundamentais dos constituintes foliares. A realização de pesquisas adicionais pode contribuir de forma significativa para a construção de bibliotecas espectrais

foliares mais robustas e representativas, com bancos de dados abrangentes para distintas culturas, condições edafoclimáticas e manejos agrícolas, possibilitando o aumento progressivo da acurácia e da robustez dos modelos preditivos. Adicionalmente, estudos futuros devem explorar e comparar diferentes técnicas de pré-processamento espectral e métodos de *machine learning*, visando identificar combinações mais adequadas para distintos conjuntos de dados, culturas e regiões. Essa abordagem poderá ampliar a generalização dos modelos, reduzir incertezas associadas à variabilidade espectral e fortalecer a aplicabilidade da espectroscopia Vis-NIR-SWIR como ferramenta de suporte ao manejo nutricional de sistemas agrícolas.

## **5. Considerações finais**

Diante da crescente variabilidade climática e do aumento das demandas relacionadas à segurança alimentar, torna-se essencial que o produtor adote estratégias de manejo mais ágeis, eficientes e assertivas. Nesse contexto, a espectroscopia nas regiões do Vis-NIR-SWIR desponta como uma técnica promissora para a substituição, ou complementação, das análises químicas convencionais de nutrientes em folhas, oferecendo uma alternativa rápida, não destrutiva e ambientalmente sustentável.

A adoção dessa abordagem possibilita a interpretação quase imediata do estado nutricional das culturas, contribuindo para maior agilidade na tomada de decisão e para o aprimoramento do manejo nutricional. Contudo, para que seu potencial seja plenamente explorado, é fundamental incentivar a organização e a padronização de bancos de dados espectrais mais extensos e representativos, bem como a ampla difusão da técnica entre instituições de pesquisa, extensão rural e laboratórios comerciais. Essas ações são essenciais para ampliar a robustez dos modelos preditivos, reduzir incertezas nas estimativas e consolidar a espectroscopia como uma ferramenta efetiva de suporte ao manejo nutricional em sistemas agrícolas.

## 6. Referências Bibliográficas

ACOSTA, M.; RODRÍGUEZ-CARRETERO, I.; BLASCO, J.; DE PAZ, J.M.; QUIÑONES, A. Non-Destructive Appraisal of Macro-and Micronutrients in Persimmon Leaves Using Vis/NIR Hyperspectral Imaging. **Agriculture**, 13(4), 916, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13040916>

BELARMINO, L.C.; NAVARRO-PABSDORF, M. **Economia, polos de produção e comércio de pêssegos no Brasil e mundo**. In Sistemas de Produção 4 – Cultivo do Pessegueiro, 2 ed, Raseira, M.C.B.; Pereira, J.F.M.; Carvalho, F.L.C. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, 2022, p. 15-24.

BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMEIRO, S.A. Soil spectral library and its use in soil classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(3), p. 861-870, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300027>

BELLON-MAUREL, V.; FERNANDEZ-AHUMADA, E.; PALAGOS, B.; ROGER, J.M.; MCBRATNEY, A. Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy. **Trends in Analytical Chemistry**, v.29, p.1073-1081, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.05.006>

CORRÊA, M.A.; MOURA-BUENO, J.M.; MARCONATO, C.A.; DA SILVA SANTOS M.; MARCHEZAN, C.; GRANDO, D.L.; TASSINARI, A.; NATALE, W.; ROZANE, D.E.; BRUNETTO, G. Combining Machine Learning and Vis-NIR Spectroscopy to Estimate Nutrients in Fruit Tree Leaves. **Horticulturae**, 12, 108, 2026. Doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae12010108>

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. SBCS-NRS: Brasil, 10 ed., Porto Alegre, 2016, 376 p.

CUQ, S.; LEMETTER, V.; KLEIBER, D.; LEVASSEUR-GARCIA, C. Assessing macro-element content in vine leaves and grape berries of *Vitis vinifera* by using near-infrared spectroscopy and chemometrics. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, 100, p. 1179-1195, 2019 Doi: <https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1648644>

De CARVALHO, G.G.A.; MOROS, J.; SANTOS JR, D.; KRUG, F.J.; LASERNA, J.J. Direct determination of the nutrient profile in plant materials by femtosecond laser-induced breakdown spectroscopy. **Analytica Chimica Acta**, 876, p.26-38, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.03.018>

Dos SANTOS, G.L.A.A.; REIS, A.S.; BESEN, M.R.; FURLANETTO, R.H.; RODRIGUES, M.; CRUSIOL, L.G.T.; DE OLIVEIRA, K.M.; FALCIONI, R.; DE OLIVEIRA, R.B.; BATISTA, M.A.; NANNI, M.R. Spectral method for macro and micronutrient prediction in soybean leaves using interval partial least squares regression. **European Journal of Agronomy**, 143, 126717, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126717>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2009. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. SILVA, F.C. (Eds.), 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 627 p.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. 2024. **Crops 2022**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 19 de janeiro de 2024.

- GALVEZ-SOLA, L.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; PÉREZ-PÉREZ, J.G.; GIMENO, V.; NAVARRO, J.M.; MORAL, R.; MARTÍNEZ-NICOLÁS, J.J.; NIEVES, M. Rapid estimation of nutritional elements on citrus leaves by near infrared reflectance spectroscopy. **Frontiers in Plant Science**, 6, p.1-8, 2015. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00571>
- GE, Y.; ATEFI, A.; ZHANG, H.; MIAO, C.; RAMAMURTHU, R.K.; SIGMON, B.; YANG, J.; SCHNABLE, J.C. High-throughput analysis of leaf physiological and chemical traits with VIS–NIR–SWIR spectroscopy: a case study with a maize diversity panel. **Plant Methods**, 15 (66), 2019. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0450-8>
- GONZÁLES-MARTÍN, I.; HERNÁNDEZ-HIERRO, J.M.; GONZÁLEZ-CABRERA, J. M. Use of NIRS technology with a remote reflectance fibre-optic probe for predicting mineral composition (Ca, K, P, Fe, Mn, Na, Zn), protein and moisture in alfalfa. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, 387, 2199-2205, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-006-1039-4>
- GUO, X.; ZHU, X.; LI, C.; WEI, Y.; YU, X.; ZHAO, G.; SUN, H. Hyperspectral inversion of potassium content in apple leaves based on vegetation index. **Agricultural Sciences**, 8, 825-836, 2017. Doi: <https://doi.org/10.4236/as.2017.88061>
- GUPTA, P.; DAS, S.S.; SINGH, N.B. **Introduction to spectroscopy**. In: Spectroscopy. GUPTA, P., DAS, S.S., SINGH, N.B. (Eds); Jenny Stanford Publishing, p.1-21, 2023.
- HINDERSMANN, J.; MOURA-BUENO, J. M.; BRUNETTO, G.; TIECHER, T.; NATALE, W.; CARGNIN, E. Z.; AMBROZZI, E.D.; PINTO, J.A.T.; ADAM, N.; NAVA, G.; NAVROSKI, R.; MALLMANN, F.J.K. Combining Vis-NIR Spectral Data and Multivariate Technique to Estimate Nutrient Contents in Peach Leaves. **Horticulturae**, 12(3), 296, 2026. Doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae12030296>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2023. **Produção da Pecuária Municipal: pêssego – Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: [https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/ppm\\_2023\\_v51\\_br\\_informativo.pdf](https://www.gov.br/mpa/pt-br/assuntos/noticias/ppm_2023_v51_br_informativo.pdf). Acesso em 19 de janeiro de 2024.
- JACQUEMOUD, S.; USTIN, S.L. Leaf optical properties: A state of the art. **Remote Sensing of Environment**, 223, p.1–22, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.026>
- JENSEN, J. R. No final do ano. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parentese Editora. 2011. 672 p.
- JOHNSON, J.M.; SILA, A.; SENTHILKUMAR, K.; SHEPHERD, K.D.; SAITO, K. Application of infrared spectroscopy for estimation of concentrations of macro and micronutrients in rice in sub-Saharan Africa. **Field Crops Research**, 270, 108222, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108222>
- LIN, L.I. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, 45, 255–268, 1989. Doi: <https://doi.org/10.2307/2532051>
- LING, B.; GOODIN, D.G.; RAYNOR, E.J.; JOERN, A. Hyperspectral Analysis of Leaf Pigments and Nutritional Elements in Tallgrass Prairie Vegetation. **Frontiers in Plant Science**, 10, 1-13, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00142>
- LOWE, A.; HARRISON, N.; FRENCH, A.P. Hyperspectral image analysis techniques for the detection and classification of the Early onset of plant disease and stress. **Plant Methods**, 13(80), 2017. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0233-z>
- MARK, H.; RITCHIE, G.E.; ROLLER, R.W.; CIURCZAK, E.W.; TSO, C.; MACDONALD, S.A. Validation of a near-infrared transmission spectroscopic procedure, part A: validation protocols.

**Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, 28(2), 251-260, 2002. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0731-7085\(01\)00567-2](https://doi.org/10.1016/S0731-7085(01)00567-2)

MENESATTI, P.; ANTONUCCI, F.; PALLOTINO, F.; ROCCUZZO, G.; ALLEGRA, M.; STAGNO, F.; INTRIGLIOLO, F. Estimation of plant nutritional status by Vis-NIR spectrophotometric analysis on orange leaves [*Citrus sinensis* (L) Osbeck cv Tarocco]. **Biosystems Engineering**, v. 105, n. 4, p. 448-454, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.01.003>

MOURA-BUENO, J.M., HINDERSMANN, J.; PAESE, B.T.; CORRÊA, A.M.; MARQUES, AL. **Metodologias destrutivas e não destrutivas para estimar nutrientes em folhas de videiras**. In: Brunetto, G. et al., Estratégias de manejo da fertilidade do solo e da nutrição de videiras. 1ed. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2025, p. 129-159.

MOURA-BUENO, J.M.; DALMOLIN, R.S.D.; HORST-HEINEN, T.Z.; TEN CATEN, A.; VASQUES, G.M.; DOTTO, A.C.; GRUNWALD, S. When does stratification of a subtropical soil spectral library improve predictions of soil organic carbon content? **Science of The Total Environment**, 737, 139895, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139895>

MOURA-BUENO, J.M.; TASSINARI, A.; GRANDO, D.L.; KOKKONEN, A.; GARLET, L.P.; DALMOLIN, R.S.D.; BRUNETTO, G. Estimativa rápida do teor de nutrientes em folhas de videira por espectroscopia Vis-NIR. In: **XXVIII Congresso Brasileiro de Fruticultura e o V Encontro Nacional de Olivicultura**. Centro de Eventos da Fenadoce, Pelotas/RS, 2023.

NAIBO, G.; DE SÃO JOSÉ, J.F.B.; PESINI, G.; CHEMIN, C.; LISBOA, B.; KAYSER, L.; ABICHEQUER, A.D.; MOURA-BUENO, J.M.; RAMON, R.; TIECHER, T. Combining mid-infrared spectroscopy and machine learning to estimate nutrient content in plant tissues of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). **Journal of Food Composition and Analysis**, 128, 106008, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106008>

NAIBO, G.; ZANOTELLI, C.C.; DE SÃO JOSÉ, J.F.B.; PESINI, G.; LISBOA, B.; KAYSER, L.; FIOR, C.S.; MOURA-BUENO, J.M.; TIECHER, T. Near-infrared spectroscopy and machine learning to estimate the physical and chemical properties of soils cultivated with *Ilex paraguariensis*. **Environmental Technology & Innovation**, 40, 104409, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104409>

NETO, A.J.S.; MOURA, L.O.; LOPES, D.C.; CARLOS, L.A.; MARTINS, L.M.; FERRAZ, L.C.L. Non-destructive prediction of pigment content in lettuce based on visible-NIR spectroscopy. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 97(7), 2015-2022, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8002>

NICOLAÏ, B.M.; BEULLENS, K.; BOBELYN, E.; PEIRS, A.; SAEYS, W.; THERON, K.I.; LAMMERTYN, J. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. **Postharvest Biology and Technology**, 46(2), 99-118, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.06.024>

NOCITA, M.; STEVENS, A.; VAN WESEMAEL, B.; AITKENHEAD, M.; BACHMANN, M.; BARTHÈS, B.; WETTERLIND, J. Soil spectroscopy: an alternative to wet chemistry for soil monitoring. **Advances in Agronomy**, 132, 139-159, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.02.002>

OSCO, L.P.; RAMOS, A.P.M.; PINHEIRO, M.M.F.; MORIYA, É.A.S.; IMAI, N.N.; ESTRABIS, N.; IANCZYK, F.; DE ARAÚJO, F.F.; LIESENBERG, V.; DE CASTRO JORGE, L.A.; LI, J.; MA, L.; GONÇALVES, W.N.; MARCATO JR., J.; CRESTE, J.E. A Machine Learning Framework to Predict Nutrient Content in Valencia-Orange Leaf Hyperspectral Measurements. **Remote Sensing**, 12, 906, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs12060906>

- PASCOA, R.N.M.J. *In Situ* visible and near-infrared spectroscopy applied to vineyards as a tool for precision viticulture. **Comprehensive Analytical Chemistry**, 80, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2018.03.007>
- PASCOA, R.N.M.J.; LOPO, M.; SANTOS, C.A.T.; GRAÇA, A.R.; LOPES, J.A. Exploratory study on vineyards soil mapping by visible/near-infrared spectroscopy of grapevine leaves. **Computers and Electronics in Agriculture**, 127, 15-25, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.05.014>
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives – A review. **Analytica Chimica Acta**, 1026, 8-36, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2018.04.004>
- PRADO, R.M.; ROZANE, D.E. **Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits**. In *Fruit Crops: Diagnosis and Management of Nutrient Constraints*. Srivastava, A.K.; Hu, C. Elsevier. p. 131-143, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00011-3>
- PRANANTO, J.A.; MINASNY, B.; WEAVER, T. Near infrared (NIR) spectroscopy as a rapid and cost-effective method for nutrient analysis of plant leaf tissues. **Advances in Agronomy**, 164, 1-49, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.06.001>
- PU, Y.Y.; O'DONNELL, C.; TOBIN, J.T.; O'SHEA, N. Review of near-infrared spectroscopy as a process analytical technology for real-time product monitoring in dairy processing. **International Dairy Journal**, 103, 104623, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104623>
- QUINLAN, J.R. **Learning with continuous classes**. In: Proceedings of the 5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, 92, 343–348, 1992. Doi: <https://doi.org/10.1142/1897>
- RINNAN, A.; VAN DEN BERG, F.; EGELSEN, S. B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. **Trends in Analytical Chemistry**, 28(10), 1201-1222, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.07.007>
- RODRIGUES, M.; NANNI, M.R.; CEZAR, E.; DOS SANTOS, G.L.A.A.; REIS, A.S.; DE OLIVEIRA, K.M.; DE OLIVEIRA, R.B. Vis-NIR spectroscopy: from leaf dry mass production estimate to the prediction of macro- and micronutrients in soybean crops. **Journal of Applied Remote Sensing**, 14(4), 2020. Doi: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.14.044505>
- ROTBART, N.; SCHMILOVITCH, Z.; COHEN, Y.; ALCAHANTIS, V.; EREL, R.; IGNAT, T.; SHENDEREY, C.; DAG, A.; YERMIYAHU, U. Estimating olive leaf nitrogen concentration using visible and near-infrared spectral reflectance. **Biosystems Engineering**, v. 114(4), 26-434, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.09.005>
- SHERMAN, C.P. **Infrared spectroscopy**. In: Handbook of instrumental techniques for analytical chemistry. Settle, F. New Jersey: Prentice Hall, 1997. Disponível em: <https://mmrc.caltech.edu/FTIR/Literature/General/IR%20spectroscopy%20Hsu.pdf>
- SINGH, H.; ROY, A.; SETIA, R.; PATERIYA, B. Estimation of chlorophyll, macronutrients and water content in maize from hyperspectral data using machine learning and explainable artificial intelligence techniques. **Remote Sensing Letters**, 13(10), 969- 979, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2022.2114108>
- STENBERG, B.; VISCARRA ROSSEL, R.A.; MOUAZEN, A.M.; WETTERLIND, J. Chapter Five – Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. **Advances in Agronomy**, 107, 163-215, 2010. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)07005-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07005-7)
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. UFRGS, Porto Alegre. 1995, 174p.

TÜRKER-KAYA, S.; HUCK, C.W. A Review of Mid-Infrared and Near-Infrared Imaging: Principles, Concepts and Applications in Plant Tissue Analysis. **Molecules**, 22, 168, 2017. Doi: <https://doi.org/10.3390/molecules22010168>

VARMUZA, K.; FILZMOSER, P. **Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics**. CRC Press (Taylor & Francis), Boca Raton, USA. 2009, 321p.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, 158, 46-54, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.025>

WALSH, K.B.; BLASCO, J.; ZUDE-SASSE, M.; SUN, X. Visible-NIR ‘point’ spectroscopy in postharvest fruit and vegetable assessment: The science behind three decades of commercial use. **Postharvest Biology and Technology**, 168, 11246, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111246>

WIJEWARDANE, N. K.; ZHANG, H.; YANG, J.; SCHNABLE, J.C.; SCHACHTMAN, D.P.; GE, Y. A leaf-level spectral library to support high throughput plant phenotyping: Predictive accuracy and model transfer. **Journal of Experimental Botany**, 74(14), 2023. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erad129>

ZAHIR, S.A.D.M.; JAMLOS, M.F.; OMAR, A.F.; JAMLOS, M.A.; MAMAT, R.; MUNCAN, J.; TSENKOVA, R. Review – Plant nutritional status analysis employing the visible and near-infrared spectroscopy spectral sensor. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 304. 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.123273>

ZAHIR, S.A.D.M.; OMAR, A.F.; JAMLOS, M.F. A review of visible and near-infrared (Vis-NIR) spectroscopy application in plant stress detection. **Sensors and Actuators A: Physical**, 338, 113468, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113468>

ZHU, G.; WANG, Q.; ZHANG, S.; GUO, T.; LIU, S.; LU, J. A meta-analysis of crop leaf nitrogen, phosphorus and potassium content estimation based on hyperspectral and multispectral remote sensing techniques. **Field Crops Res**, 329, 109961. 2025. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109961>

## Capítulo 6

# Estimativa do estado nutricional em pessegueiros

Jean Michel Moura-Bueno<sup>(1)</sup>  
Jacson Hindersmann<sup>(2)</sup>  
Bruna Trevizan Paese<sup>(3)</sup>  
Gustavo Brunetto<sup>(4)</sup>  
Gilberto Nava<sup>(5)</sup>  
Danilo Eduardo Rozane<sup>(6)</sup>  
Antonio João de Lima Neto<sup>(7)</sup>

### Resumo

A área cultivada com pessegueiros no Brasil ocupa mais de 15 mil hectares. Os estados do Sul respondem por aproximadamente 86% da área cultivada com essa frutífera, sendo o Rio Grande do Sul (RS) o principal produtor com cerca de 11 mil hectares implantados. A produtividade média no país é baixa, sendo de apenas 10,9 t ha<sup>-1</sup>. Isso deve-se, em parte, porque os solos nos quais estão implantados os pomares não fornecem as quantidades suficientes de nutrientes para suprir a

- 
- (1) Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor na Universidade de Cruz Alta e no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: bueno.jeanl@gmail.com
  - (2) Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: jacsonjh7@gmail.com
  - (3) Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciência do Solo, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: brunatpaese@hotmail.com
  - (4) Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com
  - (5) Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil. Email gilberto.nava@embrapa.br
  - (6) Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia (Produção Vegetal), Professor Associado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Registro (SP), E-mail: danilo.rozane@unesp.br
  - (7) Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Professor no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: antonio.joao@ufc.br

demanda dos pessegueiros. Assim, para manejar adequadamente a fertilidade do solo dessas áreas, torna-se necessário realizar o diagnóstico nutricional dos pomares por meio da análise química do solo e das folhas. Entretanto, para o correto diagnóstico, é necessário que os valores de referência de nutrientes no solo e no tecido foliar sejam confiáveis, contribuindo para a definição da real necessidade da aplicação de corretivos e fertilizantes, evitando aplicações excessivas de nutrientes, gastos desnecessários para o produtor e contaminação ambiental. Neste capítulo serão abordados diferentes métodos para a avaliação do estado nutricional do pessegueiro, bem como o estabelecimento de valores de referências de nutrientes no solo e nas folhas para o adequado crescimento das plantas, incremento da produtividade e melhoria da qualidade dos frutos.

**Palavras-chave:** Normas de Diagnóstico de Nutrientes, DRIS, CND, Linha de Fronteira

## **Introdução**

A cultura do pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch) tem grande importância econômica e social no Brasil. No Rio Grande do Sul, principal estado produtor, os plantios comerciais dessa frutífera ocupam uma área de 11.337 hectares, representando mais de 70% da área nacional destinada ao cultivo dessa frutífera, com produção de mais de 190 mil toneladas. Entretanto, a produtividade média é de apenas 12,4 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2024), valor bem inferior à média de 20,3 t ha<sup>-1</sup> obtida na China, que é o maior produtor mundial (FAOSTAT, 2024). Essa discrepância entre a área cultivada e o rendimento alcançado reflete as limitações climáticas e de manejo dos pomares, entre as quais se destaca a nutrição mineral inadequada das plantas.

Os solos cultivados com pessegueiros no Brasil, em geral, não fornecem naturalmente as quantidades adequadas de nutrientes para atender à demanda da cultura (Rombolà et al., 2012; Nava et al., 2025), comprometendo o crescimento vegetativo das plantas, a formação e a qualidade dos frutos. Diante desse cenário, o

diagnóstico nutricional torna-se uma ferramenta essencial, permitindo identificar deficiências, excessos ou desequilíbrios entre nutrientes, bem como orientar o manejo da adubação de forma mais eficiente. A correta estimativa do estado nutricional, associada à proposição de valores de referência de nutrientes no solo e nas folhas, fornece subsídios técnicos para a definição da necessidade real de corretivos e fertilizantes, reduzindo custos de produção e impactos ambientais, além de contribuir para o aumento da produtividade e da qualidade da produção.

A avaliação do estado nutricional das plantas constitui um dos pilares para o manejo racional da fertilidade do solo e da adubação em sistemas agrícolas. Em culturas perenes, como as frutíferas, esse diagnóstico assume importância ainda maior devido às características fisiológicas dessas espécies, que apresentam ciclo produtivo prolongado, sistemas radiculares extensos e práticas culturais específicas, como a poda. Nesse contexto, a análise foliar tem sido amplamente utilizada como ferramenta para inferir o estado nutricional das plantas, uma vez que as folhas representam órgãos metabolicamente ativos, responsáveis por processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese e a síntese de compostos orgânicos que sustentam o crescimento vegetal (Torres-Beltrán et al., 2023; Natale; Rozane, 2024).

A efetividade do diagnóstico foliar depende da existência de padrões de referência, os quais permitem comparações com os teores de nutrientes observados nos tecidos vegetais da amostra. Esses padrões nutricionais não são universais, pois variam em função de diversos fatores, incluindo a espécie e a cultivar, as condições de clima, o tipo de solo, o sistema de manejo adotado e o estágio fenológico da cultura. Por essa razão, recomenda-se que as normas nutricionais sejam estabelecidas para condições específicas de cultivo, a fim de aumentar a precisão e a confiabilidade das interpretações realizadas a partir das análises foliares (Rozane et al., 2015<sup>a</sup>; Betemps et al., 2020, Nava et al., 2025; Hindersmann et al., 2026).

Nas últimas décadas, diferentes métodos de interpretação têm sido desenvolvidos e utilizados para estimar o estado nutricional de plantas frutíferas, incluindo o pessegueiro (Betemps et al., 2020; Abbasi-Karvaneh et al., 2024). Entre os mais utilizados destacam-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973; Walworth; Sumner, 1987), a Diagnose de Composição Nutricional (CND) (Parent; Dafir, 1992) e o método da Linha de Fronteira (Webb 1972; Walworth et al., 1986; Evanylo; Sumner, 1987, os quais se baseiam em princípios distintos de avaliação da relação entre os nutrientes e o rendimento das culturas, mas compartilham o objetivo de estabelecer diagnósticos mais precisos. Além disso, o estabelecimento de classes de fertilidade do solo e de faixas de suficiência de nutrientes no tecido foliar, representa um avanço significativo para o manejo nutricional das culturas, permitindo ajustes finos que consideram a interação entre ambiente, cultivar e práticas de manejo.

Dessa forma, a compreensão e a aplicação de metodologias de diagnóstico são fundamentais para orientar práticas de manejo mais racionais. A seguir, serão apresentados os principais métodos empregados na estimativa do estado nutricional de plantas, inclusive nos pessegueiros, com suas bases conceituais e aplicabilidades em diferentes contextos produtivos.

## **1. Métodos de diagnóstico nutricional**

Historicamente, o desenvolvimento de métodos de diagnóstico nutricional baseou-se na identificação de níveis críticos de nutrientes nos tecidos vegetais. Ainda no início do século XX, a partir de estudos sobre nutrição mineral de plantas, foi proposto o conceito de “percentagem mínima” ou “limite ótimo”, posteriormente refinado por Macy (1936). Ele introduziu ainda o conceito de “porcentagem crítica”, definida como a concentração mínima de um nutriente no tecido foliar necessária para evitar deficiência e acima da qual poderia ocorrer consumo de luxo. Posteriormente, Ulrich (1952) propôs que os níveis críticos (NC) fossem definidos como aqueles correspondentes a aproximadamente 90 - 95% da

produtividade máxima alcançada pela cultura. Em frutíferas, no entanto, valores associados à produtividade de máxima eficiência econômica, podem ser ainda mais elevados, atingindo frequentemente entre 98 e 100% da produtividade de máxima eficiência física (Natale et al., 2011).

Tradicionalmente, os valores de referência nutricional, como níveis críticos e faixas de suficiência, são estabelecidos por meio de experimentos de calibração conduzidos em condições controladas. Nesses experimentos, são avaliadas as respostas das plantas à variação das doses de nutrientes, permitindo a construção de curvas de resposta que relacionam o teor foliar dos nutrientes com a produtividade ou outros parâmetros agrônômicos (Bhargava & Chadha, 1988). Apesar de fornecerem informações confiáveis, esses experimentos apresentam limitações importantes. Em primeiro lugar, são em geral onerosos e de longa duração, especialmente em culturas perenes. Além disso, os resultados obtidos são válidos apenas para as condições específicas em que os experimentos foram conduzidos, restringindo sua aplicação em outros ambientes agrícolas.

Outro aspecto relevante é que os valores de referência nutricional não são estáticos, devendo ser periodicamente revisados em função da introdução de novas cultivares, da adoção de tecnologias de manejo mais avançadas e das mudanças nas condições ambientais. Esse cenário torna a dependência exclusiva de experimentos de calibração ainda mais limitada, incentivando a busca por abordagens alternativas capazes de explorar informações provenientes de áreas comerciais de produção, nas quais existe maior variabilidade ambiental e de manejo.

Nesse contexto, surgiram metodologias que utilizam bases de dados provenientes de pomares comerciais para estabelecer padrões nutricionais mais representativos das condições reais de cultivo. Entre essas metodologias destacam-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), proposto por Beaufils (1973), a Diagnose da Composição Nutricional (CND), desenvolvida por

Parent e Dafir (1992) e a Linha de Fronteira (LF), proposta por Webb (1972) e, posteriormente, empregada por Walworth et al. (1986).

O método DRIS baseia-se no princípio de que a avaliação do estado nutricional das plantas está mais relacionada ao equilíbrio bivariado entre teores de nutrientes do que em teores absolutos de cada elemento interpretado isoladamente. Assim, em vez de avaliar os teores foliares de cada nutriente de forma independente, o DRIS utiliza relações binárias entre nutrientes, calculando índices que refletem o equilíbrio nutricional da planta. Para isso, os dados são divididos em duas subpopulações, correspondentes a áreas de alta produtividade e de baixa produtividade. A subpopulação de alta produtividade é considerada a população de referência, a partir da qual são calculados a média e o desvio-padrão de cada relação, denominadas normas DRIS (Beaufils, 1973; Beverly, 1987b).

As funções DRIS são calculadas com base na diferença entre a relação observada em uma amostra e a média da população de referência, ponderada pelo desvio-padrão dessa relação (Jones, 1981). A partir dessas funções são obtidos os índices DRIS para cada nutriente, que indicam se o elemento está em condição de deficiência, suficiência ou excesso. Além disso, o método permite calcular o Índice de Balanço Nutricional (IBN), obtido pela soma, em módulo, dos índices de todos os nutrientes analisados, fornecendo uma medida global do desequilíbrio nutricional da planta (Beaufils, 1973).

Uma das principais vantagens do DRIS é a possibilidade de identificar a ordem de limitação nutricional, classificando os nutrientes desde o mais limitante por deficiência até aquele mais limitante por excesso (Parent & Dafir, 1992; Rozane et al., 2015a). Essa abordagem permite direcionar as recomendações de adubação de forma mais eficiente. Além disso, como o método utiliza relações entre nutrientes, ele tende a ser menos sensível aos efeitos de diluição e concentração provocados por variações na produção de matéria seca das plantas em função da idade.

Apesar dessas vantagens, o DRIS apresenta algumas limitações metodológicas. O método pressupõe que as relações entre nutrientes sejam representadas por pares de elementos, o que pode simplificar demais a complexidade das interações nutricionais nas plantas. Além disso, o grande número de relações possíveis entre nutrientes torna a análise computacionalmente extensa. Para um conjunto de  $D$  nutrientes, o número de relações binárias possíveis é dado pela expressão  $(D \times (D - 1)) / 2$ , o que pode resultar em grande redundância de informações (Kenworthy, 1967).

Outro aspecto crítico é que as interações nutricionais não dependem apenas das relações entre dois elementos, mas também de múltiplos fatores, como genótipo, estágio fenológico, condições climáticas e práticas de manejo (Geraldson et al., 1973). Dessa forma, relações aparentemente adequadas entre dois nutrientes podem ocorrer tanto em situações de deficiência de ambos os elementos quanto de toxicidade, reduzindo a precisão do diagnóstico (Marschner, 1986). Além disso, estudos posteriores demonstraram que os índices DRIS podem apresentar dependência entre si e não possuem propriedades matemáticas totalmente adequadas para análises composicionais multivariadas (Beverly, 1987a, b).

Considerando essas limitações, Parent e Dafir (1992) desenvolveram o método CND (*Compositional Nutrient Diagnosis*), que representa uma evolução conceitual dos métodos univariados e bivariados de diagnóstico nutricional. O CND baseia-se na premissa de que os teores de nutrientes em tecidos vegetais constituem um sistema composicional fechado, no qual todos os componentes estão inter-relacionados e a variação de um elemento afeta necessariamente os valores relativos dos demais.

Nesse método, a composição mineral do tecido vegetal é considerada como um conjunto de componentes que somam 100%, incluindo tanto os nutrientes determinados nas análises quanto uma fração residual correspondente aos elementos não quantificados. A partir dessa composição, calcula-se a média geométrica de todos os componentes e aplicam-se transformações logarítmicas

centradas (*clr*), gerando novas variáveis multinutrientes que expressam as relações entre cada nutriente e o conjunto dos demais componentes da matéria seca (Parent & Dafir, 1992).

Essas transformações são fundamentais para permitir análises estatísticas adequadas em dados composicionais, pois eliminam problemas de dependência entre variáveis que ocorrem quando os dados são expressos em proporções ou porcentagens. As transformações log-ratio centradas (*clr*) e log-ratio isométricas (*ilr*) permitem representar os dados em um espaço estatístico apropriado para análises multivariadas (Egozcue et al., 2003).

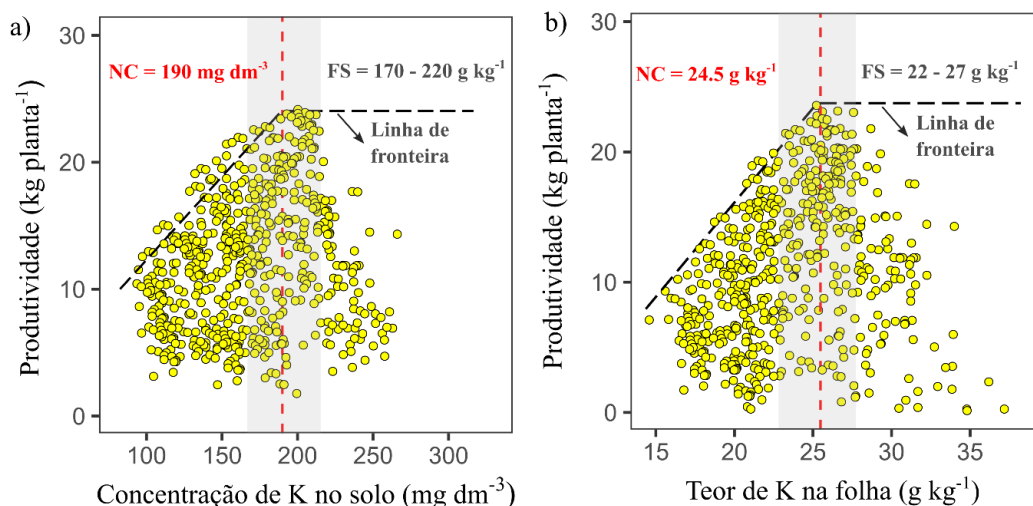
Uma característica importante da metodologia CND é a possibilidade de identificar e excluir amostras discrepantes (os chamados *outliers*) com base na distância de Mahalanobis, que é um índice de desequilíbrio nutricional, proporcionando aumento na robustez das análises. Além disso, o método permite avaliar o grau de desequilíbrio nutricional por meio do índice CND- $r^2$ , calculado a partir da soma dos quadrados dos índices de cada nutriente (Parent et al., 2009).

Assim como no DRIS, o CND também possibilita estabelecer a ordem de limitação nutricional e estimar índices globais de desequilíbrio nutricional. Entretanto, por considerar simultaneamente todas as relações entre os nutrientes, o método fornece uma representação mais completa do equilíbrio mineral das plantas (Parent et al., 2013a,b).

Além do diagnóstico nutricional propriamente dito, as metodologias DRIS e CND também podem ser utilizadas para estimar níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) nutricional. Nesse caso, os índices nutricionais obtidos são relacionados com os teores foliares dos respectivos nutrientes por meio de modelos de regressão. O teor correspondente ao ponto em que o índice nutricional é igual a zero é considerado o nível crítico (NC). A partir desse valor e do desvio-padrão das concentrações observadas na população geral, podem ser estabelecidas as faixas de suficiência (FS), geralmente definidas como  $NC \pm 2/3$  do desvio-padrão (Hahn et al., 2022; Lima Neto et al., 2022).

Outro método utilizado para estimar níveis críticos e faixas de suficiência nutricional é o método da Linha de Fronteira (LF), o qual se baseia no princípio de que o desempenho máximo de uma população pode ser descrito pelos pontos que formam o limite superior de um conjunto de dados (Webb, 1972; Walworth et al., 1986). Esse método assume que, quando existe uma relação de causa e efeito entre duas variáveis, os valores mais elevados da variável resposta, para cada nível da variável explicativa, delimitam uma linha de fronteira que representa o potencial máximo de desempenho do sistema. A LF é uma função na qual  $Y_{MAX} = f(X, \beta)$ , em que todos os valores de  $Y$  (por exemplo, rendimento da cultura) são obtidos para um determinado valor de  $X$  (por exemplo, atributos químicos da fertilidade, concentração de nutrientes no solo ou teor nas folhas). Assim, um valor de  $Y$  menor que  $f(X, \beta)$  indica que a cultura provavelmente foi afetada por um ou vários fatores limitantes (Makowski et al., 2007).

O estabelecimento de uma LF compreende duas etapas: a definição de uma função matemática  $f(X, \beta)$ , que expressa  $Y$  em função de  $X$ ; e de um conjunto de parâmetros desconhecidos  $\beta$ , sendo a estimativa do valor  $\beta$  calculada a partir de um conjunto de  $n$  medidas de  $Y$  e  $X$  obtidas em campo (Webb, 1972; Makowski et al., 2007). A função  $f(X, \beta)$  dependência entre as duas variáveis, neste caso, entre a produtividade da cultura e os níveis de nutrientes no solo ou nas folhas. A função linear-plateau (LP) (Theobald & Talbot, 2002) é um modelo de regressão segmentada – também conhecida como regressão por partes – com dois segmentos separados por um ponto de inflexão, sendo adequada à finalidade de determinar o NC, ou seja, o ponto a partir do qual não se observa aumento de produtividade em função do elevação da concentração de um nutriente no solo ou do teor de um nutriente no tecido foliar (Figura 1).



**Figura 1.** Nível crítico de potássio (K) no solo (a) e nas folhas (b) em função da produtividade de pessegueiro definido pelo método da Linha de Fronteira (LF) e pela função linear-plateau (LP). Fonte: Os autores.

Para qualquer modelo de estimativa de NC, a calibração descreve o processo de encontrar um conjunto de parâmetros que forneça a melhor representação da relação entre duas variáveis. Os primeiros métodos de calibração de uma LF incluíram a estimativa de parâmetros “no olho”, ou usando apenas os valores mais extremos de Y (Webb, 1972). Outro método consiste em dividir o domínio de variação de X em intervalos Q e, para cada intervalo, calcular o valor de Y correspondente a um valor de quantil (por exemplo, quantil de 90%). O subconjunto de dados resultante é então utilizado para estimar os parâmetros da LF por mínimos quadrados. As desvantagens desse método são, primeiramente, que os parâmetros não são estimados a partir do conjunto de dados original e, em segundo lugar, o método é baseado em um número arbitrário de intervalos Q, bem como em uma escolha arbitrária de quantis (Makowski et al., 2007).

Para contornar essas desvantagens, funções matemáticas têm sido empregadas, a exemplo de Regressões Quantílicas (RQ) (Koenker, 2005), que exploram o efeito de um ou mais preditores em qualquer quantil da distribuição da variável de resposta produtividade. Na RQ, todo o conjunto de dados é utilizado,

com observações ponderadas de acordo com o quantil escolhido, de modo que os estratos superiores dos dados possam ser examinados, sem que seja necessário gerar subconjuntos.

A definição de uma LF pode ser realizada a partir do ajuste de um modelo de Regressão Quantílica Segmentada Bayesiana (RQSB) (Liang et al., 2019), o qual é capaz de fornecer uma visão completa da relação entre a concentração de nutrientes no solo ou do teor na folha com a produtividade. Neste caso, o emprego da estatística Bayesiana permite a representação explícita da incerteza de todos os parâmetros, incluindo o ponto de inflexão, na forma de intervalos de credibilidade (IC). Estes intervalos são equivalentes às regiões de maior densidade de probabilidade das distribuições *posteriores* (Kruschke & Liddell, 2018). Deste modo, um IC de 95% contém 95% da densidade de probabilidade. Essas características são de uso prático para a estimativa de níveis críticos (NC) de nutrientes no solo ou nas folhas, pois permitem o cálculo do seu valor mais provável e, também, a definição de uma faixa de suficiência (FS) a partir do grau de incertezas em torno dele, em vez de calculado a partir de uma equação ajustada. Além disso, a comparação entre níveis nutricionais ideais de diferentes grupos ou para variáveis-resposta, pode ser diretamente realizada com base nas distribuições posteriores de seus parâmetros (Andrade et al., 2023). A incorporação de todo o conhecimento prévio disponível durante o desenvolvimento do modelo pode ser feita sem dificuldades utilizando os *priors*, permitindo a complementação entre o conhecimento consolidado, os resultados de experimentos de calibração de doses de nutrientes de longa duração e os dados obtidos a partir de cultivos comerciais para o estabelecimento níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes (Andrade et al., 2023; Hindersmann et al., 2026).

A aplicação desse método para a estimativa de valores de NC e FS de nutrientes em folhas de pessegueiro foi realizada no trabalho de Hindersmann et al. (2026). Os autores utilizaram um banco de dados de pomares comerciais do estado do RS com objetivo de definir os valores de NC e FS de nutrientes na folha

utilizando o método de RQSB. Os resultados são apresentados neste capítulo no item 4 (Tabelas 3 e 4).

Embora a determinação de NC e FS represente, em certa medida, um retorno aos conceitos clássicos de diagnóstico nutricional, a utilização das metodologias LF, DRIS e CND para obter esses parâmetros apresentam vantagens importantes. Em particular, permitem que os valores de referência sejam derivados de banco de dados obtidos em pomares comerciais de alta produtividade, refletindo as condições reais de cultivo e possibilitando a atualização contínua desses parâmetros à medida que novos dados são incorporados às bases de monitoramento nutricional.

Por fim, é importante destacar que, embora a análise foliar seja amplamente utilizada para diagnosticar o estado nutricional das plantas e orientar decisões de manejo da adubação, sua aplicação direta para a definição precisa de doses de fertilizantes ainda apresenta limitações. Isso ocorre porque os teores de nutrientes nos tecidos vegetais podem ser influenciados por diversos fatores, como efeitos de diluição/concentração, decorrentes da variação na produção de matéria seca, bem como pela aplicação de produtos fitossanitários que contêm micronutrientes como cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) em sua composição (Parent & Dafir, 1992; Rozane et al., 2015b).

Dessa forma, o diagnóstico nutricional deve ser interpretado de maneira integrada com outras ferramentas de manejo da fertilidade do solo, incluindo análises físicas e químicas do solo, histórico de manejo da área e informações de produtividade. Quando utilizadas de forma complementar, essas ferramentas contribuem para o desenvolvimento de estratégias de manejo nutricional mais eficientes, capazes de aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos, com menor impacto para o meio ambiente.

## **2. Valores de referência de nutrientes no solo**

O atual sistema oficial de recomendação de calagem e adubação de frutíferas nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) (CQFS-RS/SC, 2016) estabelece a necessidade e as doses de nutrientes com base nas suas concentrações no solo e seus teores no tecido foliar. No entanto, as normas para a interpretação dos resultados das análises químicas do solo e das folhas, na maioria das vezes, são trazidas da literatura de outros países ou regiões, havendo poucos valores de referência obtidos em experimentos de calibração realizados nas condições edafoclimáticas brasileiras e/ou de cultivo local. Sendo assim, existe ainda a necessidade de ajustes no sistema oficial de recomendação de adubação dos estados do RS e SC, principalmente em relação ao estabelecimento de valores de referências de nutrientes no solo e em folhas, que auxiliem na tomada de decisão da necessidade de aplicação de fertilizantes em pomares nas fases de crescimento, bem como em produção. Valores de referência (NC e FS) mais adequados podem ser obtidos em experimentos de calibração regionais, nos quais deve-se considerar as principais cultivares exploradas nas regiões em estudo, resultando em um banco de dados robusto, que associado às técnicas de aprendizado de máquina (*Machine learning*), possibilitará, via modelagem matemática, relacionar a concentração/teor de nutrientes com a produção de frutos da cultura para a proposição de níveis críticos (NC), classes de fertilidade do solo (CFS) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes para o pessegueiro.

As normas de diagnóstico (NC, CFS e FS) de nutrientes no solo ou nas folhas podem ser usadas para definir a necessidade de aplicação de nutrientes, pois, quando os valores da amostra estão abaixo destes, significa que há necessidade de adubação e, quando acima, a probabilidade de resposta à aplicação de nutrientes é baixa. Os NC e CFS de nutrientes no solo para o pessegueiro constam no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016). No entanto, os valores são generalistas para cultivares dos dois estados (RS e SC). Por outro lado, a pesquisa tem gerado, nos últimos anos,

valores de referência de nutrientes para condições regionais. Exemplo disso, são os valores de NC e CFS propostos para pessegueiros da cultivar ‘PS 10711’ na região da Serra Gaúcha (Tabela 1).

**Tabela 1.** Proposição de níveis críticos (NC) e classes de fertilidade do solo (CFS) para pessegueiros ‘PS 10711’, cultivados na região da Serra Gaúcha (RS)

Nutrientes	Nível crítico	Classe adequada
P (mg dm <sup>-3</sup> )	24	21 - 26
K (mg dm <sup>-3</sup> )	190	185 - 200
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,8	4,5 – 6,8
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,2	0,5 – 3,0
Saturação por bases %	75,0	72,0 – 78,0

Fonte: Adapto de Nava et al. (2025).

### 3. Valores de referência de nutrientes nas folhas

Os NC e a FS de nutrientes em folhas constituem ferramentas importantes para a definição da necessidade de adubação. Teores foliares de nutrientes inferiores aos estabelecidos como adequados indicam deficiência nutricional e, portanto, necessidade de aplicação de fertilizantes, enquanto teores superiores sugerem baixa ou nula probabilidade de as plantas responderem à adubação com aumento da produtividade. Para o pessegueiro, os NC e as FS foliares podem ser consultados no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). Entretanto, como destacado anteriormente, tais valores apresentam caráter generalista, uma vez que foram estabelecidos para diferentes cultivares e para ambos os Estados. Nos últimos anos, contudo, pesquisas têm estabelecido valores de referência regionais mais específicos. Como exemplo, destacam-se novos valores propostos de níveis

críticos e faixas de suficiência de nutrientes em folhas determinados em função da produção para o pessegueiro ‘PS 10711’, na região da Serra Gaúcha (Tabela 2), e para o pessegueiro ‘Maciel’, na região de Pelotas (Tabela 3) (Hindersmann et al., 2026).

**Tabela 2.** Proposição de níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes em folhas para o pessegueiro ‘PS 10711’, cultivado na região da Serra Gaúcha (RS)

Nutrientes	Hindersmann et al. (2026)		CQFS-RS/SC (2016)
	NC	FS	FS
	Produtividade > 30 t ha <sup>-1</sup>		Produtividade > 20 t ha <sup>-1</sup>
N (g kg <sup>-1</sup> )	31,0	28,0 – 33,0	33,0 – 45,0
P (g kg <sup>-1</sup> )	2,8	2,5 – 3,0	1,5 – 3,0
K (g kg <sup>-1</sup> )	23,5	21,5 – 25,0	14,0 – 20,0
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	28,5	26,0 – 31,0	17,0 – 26,0
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	4,5	4,0 – 5,0	5,0 – 8,0
S (g kg <sup>-1</sup> )	0,85	0,70 – 1,00	–
B (mg kg <sup>-1</sup> )	25,0	23,0 – 27,0	30,0 – 60,0
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	9,0	7,0 – 12,0	6,0 – 30,0
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	72,0	65,0 – 80,0	100,0 – 230,0
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	–	–	30,0 – 160,0
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	–	–	24,0 – 37,0

A proposição desses valores de referência específicos para diferentes cultivares, regiões e condições de cultivo, possibilitou determinar NC e FS de nutrientes em folhas da cultivar de pessegueiro ‘PS 10711’ (Tabela 2), com base em dados oriundos de pomares comerciais. Quando esses valores são confrontados com as faixas estabelecidas pelo sistema oficial de recomendação do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), construído com base em uma expectativa de produtividade

de 20 t ha<sup>-1</sup>, observa-se que os novos parâmetros propostos se mostram mais ajustados às exigências nutricionais dessa cultivar aos atuais sistemas de produção que alcançam alta produtividade.

No caso do N, o NC estimado foi de 31,0 g kg<sup>-1</sup> e a faixa de suficiência variou entre 28,0 e 33,0 g kg<sup>-1</sup>, valores ligeiramente inferiores aos intervalos recomendados pelo CQFS-RS/SC (2016), sugerindo que podem ser obtidos elevados rendimentos mesmo com teores foliares de N mais moderados. Para o P, o NC determinado foi de 2,8 g kg<sup>-1</sup>, com FS entre 2,5 e 3,0 g kg<sup>-1</sup>, mantendo-se dentro dos limites da recomendação oficial, porém com intervalo mais estreito, indicando maior precisão diagnóstica. Por outro lado, o K apresentou NC de 23,5 g kg<sup>-1</sup> e FS de 21,5 a 25,0 g kg<sup>-1</sup>, superando os valores de suficiência da recomendação oficial (14,0 a 20,0 g kg<sup>-1</sup>), o que evidencia uma possível subestimação da exigência desse nutriente nos modelos atualmente utilizados. Os nutrientes Ca e Mg, apresentaram valores de NC e FS significativamente mais elevados que a recomendação oficial (CQFS-RS/SC (2016)). O NC de Ca foi de 28,5 g kg<sup>-1</sup>, com faixa de suficiência entre 26,0 e 31,0 g kg<sup>-1</sup>, ao passo que, para Mg, o NC foi de 4,5 g kg<sup>-1</sup>, com FS entre 4,0 e 5,0 g kg<sup>-1</sup>. A realização deste estudo também possibilitou estabelecer valores de referência para o S em folhas de pessegueiro (NC = 0,85 g kg<sup>-1</sup> e FS = 0,70-1,00 g kg<sup>-1</sup>), valores esses que são escassos na literatura e inexistentes no manual de recomendação de adubação oficial para os estados do RS e SC no Sul do Brasil. Além dos macronutrientes, o estudo estimou os valores de NC e FS para os micronutrientes B, Cu e Fe (Tabela 2), sendo, respectivamente, 25,0 mg kg<sup>-1</sup>; 9,0 mg kg<sup>-1</sup> e 72,0 mg kg<sup>-1</sup>. As faixas de suficiência recomendadas pela CQFS-RS/SC (2016) são notadamente maiores para B e Cu e, no caso do Fe, substancialmente superior.

O mesmo estudo também possibilitou a determinação de NC e FS de nutrientes em folhas da cultivar de pessegueiro ‘Maciel’ (Tabela 3), com base em dados oriundos de pomares experimentais. Para o N, o NC estimado foi de 31,0 g kg<sup>-1</sup> e a faixa de suficiência entre 28,0 e 33,0 g kg<sup>-1</sup>, valores ligeiramente inferiores

aos intervalos recomendados pelo CQFS-RS/SC (2016), sugerindo que podem ser obtidos elevados rendimentos, mesmo com teores foliares de N mais moderadas. Para o P, o NC determinado foi de 2,0 g kg<sup>-1</sup>, com FS entre 1,85 e 2,2 g kg<sup>-1</sup>, mantendo-se dentro dos limites da recomendação oficial, porém, com intervalo mais estreito, indicando maior precisão diagnóstica. Por outro lado, o K apresentou NC de 23,5 g kg<sup>-1</sup> e FS de 21,5 a 25,0 g kg<sup>-1</sup>, superando os valores de suficiência da recomendação oficial (14,0 a 20,0 g kg<sup>-1</sup>), o que evidencia uma possível subestimação da exigência pelo nutriente nos modelos atualmente utilizados. Os nutrientes Ca e Mg mantiveram-se dentro dos limites da recomendação oficial, porém, apresentam intervalos mais restritos, indicando maior precisão diagnóstica. O NC de Ca foi de 19,5 g kg<sup>-1</sup>, com faixa de suficiência entre 18,0 e 21,0 g kg<sup>-1</sup>, enquanto para o Mg o NC foi de 6,0 g kg<sup>-1</sup>, com FS entre 5,4 e 6,8 g kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 3.** Proposição de níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes em folhas para pessegueiro ‘Maciel’, cultivado na região de Pelotas (RS)

Nutrientes	Hindersmann et al. (2026)		CQFS-RS/SC (2016)
	NC	FS	FS
	Produtividade > 30 t ha <sup>-1</sup>		Produtividade > 20 t ha <sup>-1</sup>
N (g kg <sup>-1</sup> )	31,0	28,0 – 33,0	33,0 – 45,0
P (g kg <sup>-1</sup> )	2,0	1,85 – 2,20	1,5 – 3,0
K (g kg <sup>-1</sup> )	23,5	21,5 – 25,0	14,0 – 20,0
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	19,5	18,0 – 21,0	17,0 – 26,0
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	6,0	5,4 – 6,8	5,0 – 8,0
S (g kg <sup>-1</sup> )	–	–	–
B (mg kg <sup>-1</sup> )	35,0	32,0 – 38,0	30,0 – 60,0
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	6,3	5,3 – 7,3	6,0 – 30,0
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	56,0	51,0 – 62,0	100,0 – 230,0
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	–	–	30,0 – 160,0
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	–	–	24,0 – 37,0

O estudo também possibilitou estimar os valores de NC e FS dos micronutrientes B, Cu e Fe (Tabela 3). Os NCs estimados para esses micronutrientes foram 35,0 mg kg<sup>-1</sup>; 6,3 mg kg<sup>-1</sup> e 56,0 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente. Semelhante ao que se observou na outra cultivar do estudo, as faixas de suficiência recomendadas pela CQFS-RS/SC (2016) são notadamente maiores para B e Cu e, no caso do Fe, substancialmente superior.

#### **4. Considerações finais**

A nutrição mineral constitui um dos principais fatores que condicionam o desempenho produtivo do pessegueiro, especialmente em regiões como o Sul do Brasil, onde a cultura apresenta elevada importância econômica, mas, com produtividade média inferior ao potencial observado em outros países produtores. Nesse contexto, o diagnóstico nutricional adequado assume papel estratégico para o manejo racional da fertilidade do solo e da adubação, permitindo identificar limitações nutricionais e orientar práticas de manejo mais eficientes.

Os métodos de diagnóstico nutricional discutidos neste capítulo — como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), a Diagnose da Composição Nutricional (CND) e a Linha de Fronteira (LF) — representam avanços importantes em relação às abordagens tradicionais, baseadas exclusivamente em níveis críticos obtidos em experimentos clássicos de calibração. Essas metodologias possibilitam explorar bases de dados oriundas de pomares comerciais, incorporando maior variabilidade ambiental e de manejo, o que contribui para a obtenção de padrões nutricionais mais representativos das condições reais de cultivo.

Os valores de referência de nutrientes no solo e nas folhas, apresentados neste capítulo, evidenciam que as exigências nutricionais do pessegueiro podem variar de acordo com a cultivar, a região e as condições de manejo. A comparação entre os valores obtidos em estudos recentes, com aqueles recomendados pelo sistema oficial de adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa

Catarina, demonstra que, em alguns casos, os intervalos atualmente utilizados podem não refletir plenamente as condições de sistemas produtivos mais intensivos ou de cultivares específicas. Dessa forma, a geração de valores de referência regionais, baseados em dados provenientes de pomares comerciais e experimentais, representa um avanço significativo para o aprimoramento do manejo nutricional da cultura. Além de aumentar a precisão diagnóstica, esses parâmetros contribuem para o uso mais racional de fertilizantes, reduzindo custos de produção e amenizando impactos ambientais associados ao uso excessivo de insumos.

Por fim, ressalta-se que a interpretação do estado nutricional das plantas não deve ser realizada de forma isolada. A integração entre as análises foliares e de solo deve estar associada ao histórico de manejo e às informações de produtividade, sendo fundamental para a construção de estratégias mais eficientes e sustentáveis. A continuidade de estudos que ampliem as bases de dados nutricionais, incorporem novas cultivares e utilizem ferramentas modernas de análise estatística e aprendizado de máquina, será essencial para aprimorar os sistemas de diagnóstico nutricional e apoiar o desenvolvimento sustentável da fruticultura de clima temperado no Sul do Brasil.

## 5. Referências Bibliográficas

ABBASI-KARVANEH, Z.; RANJBAR, F.; BEHESHTI-ALAGHA, A.; SHARIFI, R.; CHAGHAZARDI, H. Improvement of iron chlorosis and nutrient balance in peach and nectarine trees under integrated fertilization management using DOP, DRIS and CND methods. **Scientia Horticulturae**, v. 338, p. 113697, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113697>

ANDRADE, C. B.; COMIN, J. J.; MOURA-BUENO, J. M.; BRUNETTO, G. Obtaining reference values for nutrients in vineyard soils through boundary line approach using Bayesian segmented quantile regression on commercial farm data. **European Journal of Agronomy**, v. 150, p. 126928, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126928>

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition**. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132p.

BETEMPS, D. L.; PAULA, B. V.; PARENT, S-E.; GALARCA, S. P.; MAYER, N. A.; MARODIN, G. A. B.; ROZANE, D. E.; NATALE, W.; MELO, G. W. B.; PARENT, L.; BRUNETTO, G. Humboldtian diagnosis of peach tree (*Prunus persica*) nutrition using machine-

learning and compositional methods. **Agronomy**, v. 10, p. 900, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060900>

BEVERLY, R. B. Modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of ‘Valencia’ oranges. **Journal of Plant Nutrition**, 10(9–16), 1401–1408. 1987b. <https://doi.org/10.1080/01904168709363672>

BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, p. 901–920, 1987a. <https://doi.org/10.1080/01904168709363619>

BHARGAVA, B. S.; CHADHA, K. L. Leaf nutrient guide for fruit and plantation crops. **Fertilizer News**, v. 33, p. 21-29, 1988.

CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. 11° ed. 2016. 376p

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUERAS, G.; BARCELÓ-VIDAL, C. Isometric logratio transformations for compositional data analysis. **Mathematical Geology**, v. 35, p. 279–300, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1023818214614>

EVANYLO, G. K.; SUMNER, M. E. Utilization of the boundary line approach in the development of soil nutrient norms for soybean production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, n. 12, p. 1379–401, 1987. <https://doi.org/10.1080/00103628709367906>

FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2024. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 19 de dezembro de 2025.

GERALDSON, C. M.; KLACAN, G. R.; LORENZ, O. A. Plant analysis as an aid in fertilizing vegetable crops. In: Walsh LM, Beaton JD. **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America. 1973. p. 365-379

HAHN, L.; SUZIN, D. L.; ARGENTA, L. C.; TIECHER, T. L.; THEWES, F. R.; MOURA-BUENO, J. M.; BRUNETTO, G. Calcium applications on ‘Fuji Suprema’ and ‘Maxi Gala’ apple trees: fruit quality at harvest and after cold storage. **Bragantia**, v. 81, p. e0522, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210063>

HINDERSMANN, J.; MOURA-BUENO, J. M.; BRUNETTO, G.; TIECHER, T.; NATALE, W.; LIMA NETO, A. J.; MALLMANN, F. J. K. Proposing nutrient reference values in peach leaves based on bayesian segmented quantile regression. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-14, 2026. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02989-6>

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de pêsego – Rio Grande do Sul**. 2024. Disponível em: <https://ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pessego/rs>. Acesso em: 11 set. 2025.

JONES, C. A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, n. 8, p. 785–794, 1981. <https://doi.org/10.1080/00103628109367194>

KENWORTHY, A. L. Plant analysis and interpretation of analysis for horticultural crops. In: STELLY, M.; HAMILTON, H. **Soil testing and plant analysis**. Part II. Madison: Soil Science Society of America. 1967. p. 59-75

KOENKER, R. **Quantile Regression**. Cambridge: Cambridge University Press. 2005. 638p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754098>

- KRUSCHKE, J.K.; LIDDELL, T. M. Bayesian data analysis for newcomers. **Psychonomic Bulletin and Review**, v. 25, p. 155–177, 2018. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1272-1>
- LIANG, Z.; QIAN, S.S.; WU, S.; CHEN, H.; LIU, Y.; YU, Y.; YI, X. Using bayesian change point model to enhance understanding of the shifting nutrients-phytoplankton relationship. **Ecological Modelling**, v. 393, p. 120–126, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.12.008>
- LIMA NETO, A. J.; NATALE, W.; ROZANE, D. E.; DEUS, J. A. L.; RODRIGUES FILHO, V. A. Establishment of DRIS and CND standards for fertigated ‘Prata’ Banana in the northeast, Brazil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, n. 1, p. 765–777, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00687-7>
- MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. **Plant Physiology**, v. 11, p. 749-764, 1936. <https://doi.org/10.1104/pp.11.4.749>
- MAKOWSKI, D.; DORÉ, T.; MONOD, H. A new method to analyse relationships between yield components with boundary lines. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 27, p. 119–128, 2007. <https://doi.org/10.1051/agro:2006029>
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 1st ed. London: Academic Press, 1986.
- NATALE, W.; ROZANE, D.E.; PRADO, R. M.; ROMUALDO, L.M.; SOUZA, H.A.; HERNANDES A. Dose econômica de calcário na produtividade de caramboleiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 1294-1299, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000400030>
- NATALE, W.; ROZANE, D. E. **Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas**. Unesp. Santa Maria: Editora Pallotti, 2024. 136p.
- NAVA, G.; PAULA, B.V.; HAHN, L.; BARRETO, C.F.; BENATI, J.A.; BRUNETTO, G.; NAVROSKI, R.; HINDERSMANN, J.; PAESE, B.T.; MOURA-BUENO, J.M. Calagem, adubação e estado nutricional em pessegueiros. In: **Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas**. Santa Maria: Núcleo regional sul da sociedade brasileira de ciência do solo - NRS-SBCS: Editora Pallotti, p. 383–403. 2025.
- PARENT, L. E.; DAFIR, M. A Theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal American Society Horticultural Science**, v. 117, n. 2, p. 239-242, 1992. <https://doi.org/10.21273/jashs.117.2.239>
- PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, n. 4, p. 383–390, 2009. <https://doi.org/10.4141/CJSS08050>
- PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera indica*). **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 449, 2013b. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00449>
- PARENT, S.E.; PARENT, L.E.; EGOZCUE, J.J.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; GENTILE, V.H.; NAESS, K.; MARCHAND, S.; LAFOND, J.; MATTOS JUNIOR, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The Plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 39, 2013a. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00039>
- ROMBOLÀ, A. D.; SORRENTI, G.; MARODIN, G. A. B.; PIERI, A. Z. D.; BARCA, E. Nutrição e manejo do solo em fruteiras de caroço em regiões de clima temperado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 639-654, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p639>

ROZANE, D. E.; MATTOS, D.; PARENT, S. É.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Meta-analysis in the selection of groups in varieties of citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, p. 1948-1959, 2015b. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1069307>

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, v. 44, p. 102-112, 2015a. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n1p102-112>

THEOBALD, C. M.; TALBOT, M. The Bayesian choice of crop variety and fertilizer dose. **Applied Statistics**, v. 51, p. 23–26, 2002. <https://doi.org/10.1111/1467-9876.04863>

TORRES-BELTRÁN, N. G.; YÁÑEZ-MUÑOZ, R. M.; SOTO-PARRA, J. M.; NOPERIMOSQUEDA, L. C. Nutritional standards through Integrated Differential Diagnosis (IDD) in pomegranate (*Punica granatum* L.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 51, p. 12988, 2023. <https://doi.org/10.15835/nbha51112988>

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 3, p. 207-228, 1952. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.03.060152.001231>

WALWORTH, J. L.; LETZSCH, W. S.; SUMNER, M. E. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 123-128, 1986. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000010024x>

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Advances in Soil Science**, v. 6, p. 149-188, 1987. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4682-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4682-4_4)

WEBB, R. Use of the boundary line in the analysis of biological data. **Journal Horticulture Science**, v. 47, p. 309-19, 1972. <https://doi.org/10.1080/00221589.1972.11514472>

## *Capítulo 7*

# **Calagem e gessagem em pomares de pessegueiro**

Gilberto Nava<sup>(1)</sup>  
Álvaro Luiz Mafra<sup>(2)</sup>  
Gustavo Brunetto<sup>(3)</sup>  
William Natale<sup>(4)</sup>

### **Resumo**

A produção de pêssegos no Brasil concentra-se majoritariamente no Rio Grande do Sul (RS), onde predominam solos ácidos, com baixos teores de nutrientes e elevada presença de alumínio (Al) trocável. Esses fatores limitam fortemente o crescimento radicular e, conseqüentemente, a produtividade dos pomares. Por isso, a calagem é considerada uma prática essencial no cultivo do pessegueiro. Este capítulo aborda, de forma integrada e com enfoque técnico-científico, os princípios, critérios e práticas voltados à correção da acidez do solo, em pomares de pessegueiro estabelecidos em regiões subtropicais brasileiras. Os fundamentos químicos da calagem, seus efeitos sobre a neutralização do Al, elevação do pH e melhoria da disponibilidade de nutrientes ao desenvolvimento radicular serão abordados. Também serão detalhados os procedimentos recomendados para a

---

<sup>(1)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária CPACT. Rodovia BR 392, km 78 Monte Bonito, Cep: 96010971, Pelotas, RS- Brasil. Email gilberto.nava@embrapa.br

<sup>(2)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Professor Titular do Departamento de Solos e Recursos Naturais do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, SC. E-mail: alvaro.mafra@udesc.br

<sup>(3)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor Associado 4 no Departamento de Solos e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq 1B. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

<sup>(4)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Bolsista do CNPq junto à Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, nº 2270, Bairro Pici, CEP 60.511-110, Fortaleza, CE, Brasil. Bolsista PQ do CNPq. E-mail: natale@ufc.br

calagem em pré-plantio, incluindo critérios para definir a necessidade e a dose, a escolha do corretivo, as formas de aplicação e a incorporação, inclusive em pomares localizados em relevo com alta declividade e com limitações físicas do solo. Além disso, o capítulo examina alternativas de manejo para pomares adultos sujeitos à reacidificação do solo, o papel das coberturas vegetais na eficiência da calagem superficial e a contribuição complementar do gesso agrícola para melhorar o ambiente químico subsuperficial.

**Palavras-chave:** acidez do solo, alumínio tóxico, reacidificação, plantas de cobertura.

## **1. Introdução**

O Brasil é o terceiro maior produtor de pêssegos da América Latina, sendo superado apenas pelo Chile e pelo México. Em 2023, a produção nacional alcançou cerca de 200 mil toneladas, em área cultivada de aproximadamente 15 mil hectares, com valor estimado de R\$ 647 milhões. O Rio Grande do Sul (RS) é o maior produtor do país e concentra 65,2% desse total, com aproximadamente 131 mil toneladas colhidas em 11.660 hectares de pomares de pessegueiro, resultando em R\$ 348 milhões em valor bruto de produção (IBGE, 2023). O rendimento médio de 12.844 kg ha<sup>-1</sup> ainda é considerado baixo, em parte decorrente da ineficiente correção da acidez, seja antes ou após a implantação dos pomares, uma vez que os solos são predominantemente ácidos, pobres em nutrientes e com altos teores de alumínio (Al) trocável.

Por isso, a calagem torna-se prática fundamental para a implantação bem-sucedida de pomares de pessegueiro. A aplicação do calcário neutraliza o Al tóxico, eleva o pH para uma faixa ideal e aumenta a disponibilidade de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), nutrientes vitais para a qualidade dos frutos. Além disso, ao melhorar o ambiente químico, a calagem aumenta a disponibilidade de fósforo (P), adsorvido em grupos funcionais em solos ácidos, e potencializa a atividade

microbiana, criando um ambiente mais equilibrado e favorável ao crescimento de raízes.

Este capítulo dedica-se a detalhar os procedimentos técnicos para a adequada correção da acidez de solos regiões subtropicais cultivadas com pessegueiro no Brasil. Além disso, terá como um de seus focos centrais apresentar estratégias para contornar possíveis problemas de acidez em pomares adultos já estabelecidos.

## **2. Calagem em pré-plantio**

Os solos das regiões onde o pessegueiro é cultivado são predominantemente ácidos, com elevados teores de Al tóxico, o que prejudica o crescimento do sistema radicular e, por consequência, da parte aérea. Assim, o uso de calcário é recomendado para insolubilizar elementos tóxicos (exemplo, Al e manganês - Mn), aumentar a disponibilidade de elementos essenciais (exemplo, Ca, Mg, P, etc.), melhorando o ambiente químico do solo para o crescimento do sistema radicular das plantas.

A aplicação superficial do calcário, sem a devida incorporação, diminui a eficiência agrônômica. Isto ocorre porque a mobilidade do calcário no perfil do solo é praticamente nula, concentrando a reação de neutralização nos primeiros centímetros (<5 cm) da camada superficial. A menor reatividade do calcário abaixo dos locais de aplicação deve-se, principalmente, à sua baixa solubilidade, ao aumento das cargas negativas nas camadas aplicadas, por causa do aumento do pH e à pequena permanência dos ânions adicionados na solução do solo (Ernani, 2006). Consequentemente, se aplicado superficialmente, a zona de desenvolvimento radicular principal do pessegueiro permanece inalterada, com pH ácido, alta saturação por alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes (Nava et al., 2023; Caires et al., 2003; Ernani, 2006), criando uma barreira química para o crescimento radicular.

Portanto, na implantação do pomar, o produtor tem a melhor oportunidade, se não a única, de resolver os problemas com acidez do solo de maneira efetiva (Nava et al., 2025; Benati et al., 2022). A não incorporação do calcário anteriormente ao plantio perpetua o problema da acidez subsuperficial que é um dos principais fatores limitantes para a produtividade dos pomares. Após o plantio das mudas não se recomenda o revolvimento do solo, a fim de evitar danos ao sistema radicular e por favorecer a propagação de patógenos.

No RS e Santa Catarina (SC), os solos que possuem valores de pH abaixo do ideal devem ser corrigidos pela calagem, sendo a dose recomendada de corretivo baseada por meio do Índice SMP ou Tampão Santa Maria (TSM), para elevar o pH em água até 6,0. Alternativamente ao Índice SMP, em alguns estados como SP e PR, a dose de calcário é estabelecida com base na saturação por bases (V%), assumindo-se provável correspondência para o valor de pH 6,0, sendo a saturação por bases adequada em torno de 80% (CQFS-RS/SC, 2016). Quanto maior o teor de argila e de matéria orgânica, que conferem maior tamponamento de pH, maior a necessidade inicial de calcário, porém, maior será o efeito residual da calagem. Em solos mais tamponados, a reaplicação de corretivo será menos frequente, pois estes resistem mais a redução do pH após terem sido calcariados.

O calcário a ser utilizado deverá ter cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na sua composição, bem como possuir alto poder de neutralização (PN), sem necessariamente ter elevado poder relativo de neutralização total (PRNT), o que pode ser desejável em termos de incremento do efeito residual da calagem. O calcário deve ser aplicado na superfície do solo e, em seguida, incorporado até 30 cm. Uma vez que a camada-diagnóstica de amostragem de solo é de 0-20 cm, deve-se aplicar uma dose e meia de calcário, conforme estabelecido para esta camada (CQFS-RS/SC, 2016). Para uma boa incorporação do calcário sugere-se a seguinte sequência de operações: aplicação de metade da dose de calcário na superfície do solo; subsolar o solo duas vezes, quando o mesmo estiver compactado, sendo que a segunda subsolagem deve ser realizada em direção

perpendicular à primeira; aração mais profunda possível (exemplo, 30 ou 40 cm, dependendo da dose estimada); gradagem do solo próxima ao plantio.

Além da necessidade de correção da acidez do solo como prática antecedente ao plantio, deve-se adotar neste momento práticas conservacionistas mecânicas, vegetativas e edáficas (Koller et al. 2023), conforme a sensibilidade da área à erosão hídrica (Figura 1).



**Figura 1.** Transporte de sedimentos pela erosão hídrica favorecida pelo revolvimento do solo para incorporação do calcário em pré-plantio do pomar. Foto: Gilberto Nava.

Uma estratégia eficiente nessas condições é a calagem, adubação de pré-plantio e preparo do solo em períodos menos chuvosos, como no outono, seguido da semeadura de plantas de cobertura. Com isso, no momento do plantio o solo estará coberto (Figura 2), havendo somente a necessidade de abertura de um sulco ou faixa para o plantio das mudas de pessegueiro.



**Figura 2.** Área corrigida e cultivada com aveia para posterior implantação do pomar de pessegueiro no final do inverno. Foto: Gilberto Nava.



**Figura 3.** Preparo mecânico por meio de subsolagem, aração e gradagem (a) e calagem (b) em faixa para posterior plantio do pomar Foto: Gilberto Nava.

Em áreas declivosas e com elevada pedregosidade, pode-se restringir a aplicação do calcário à faixa de plantio (Figuras 3a e 3b), que não deve ser inferior a pelo menos a metade da distância entre filas, sendo a dose de calcário ajustada proporcionalmente a largura desta faixa. Porém, a aplicação do calcário em faixa,

no futuro, pode restringir a essa região o crescimento das raízes, especialmente, as mais finais, responsáveis pela absorção de água e nutrientes. Considerando isso, recomenda-se a aplicação de calcário em faixa, apenas quando realmente não é possível realizar em área total.

### **3. Calagem em pomares adultos e com problemas de acidez**

A correção da acidez do solo em pomares já estabelecidos pode ser necessária à medida que ocorre reacidificação do solo ao longo do tempo, em especial, ocasionada pelas adubações. Quando isso acontece é necessário realizar uma nova aplicação de calcário, em quantidade baseada na análise de solo, feita separadamente para linha e entrelinha, uma vez que, o comportamento de acidificação do solo pode variar nessas duas posições. O critério utilizado para a recomendação é quando o pH em água for menor que 5,5, com dose de calcário equivalente a  $\frac{1}{2}$  do que o Índice SMP. Preferencialmente, deve-se evitar aplicações de calcário em doses maiores que  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , quando aplicado na superfície do solo (Natale et al., 2025).

Para aumentar a eficiência da calagem superficial em pomares em produção é conveniente o uso de calcário com granulometria fina, tipo filler, e com elevado PRNT para favorecer seu deslocamento no perfil do solo. Em função da baixa solubilidade, normalmente a descida do corretivo e de seus produtos de solubilidade ocorrem a uma velocidade muito pequena e, desta forma, os efeitos em profundidade nunca serão comparáveis com os resultados obtidos com a incorporação do calcário antes do plantio da cultura (Kaminski et al., 2005).

A contribuição da calagem para a melhoria produtiva dos pomares é influenciada por outras práticas de manejo do solo, entre as quais se destaca a cobertura vegetal permanente nas entrelinhas. A proteção da superfície do terreno pelas plantas ou resíduos vegetais é fundamental para reduzir as perdas de solo por erosão e pode melhorar os atributos químicos, biológicos e físicos do solo, ocasionados pelo crescimento das raízes, pelo aporte de biomassa e pela ciclagem

de nutrientes e da matéria orgânica (Demestilhas et al., 2017). Nas linhas das fruteiras a cobertura viva pode ter efeito benéfico sobre o solo, mas se deve evitar a competição a partir da adoção de práticas como dessecação com herbicidas, roçada e uso de cobertura morta. Destaca-se que o material orgânico adicionado pelas coberturas pode, além de aumentar a saúde do solo, trazer outros benefícios ambientais, tais como mitigar as emissões de gases de efeito estufa a partir do sequestro de carbono e favorecer a recuperação do solo (Baloch et al., 2025).

Deve-se considerar, ainda, que as plantas de cobertura do solo podem aumentar a eficiência da calagem superficial. A melhoria química é atribuída à liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular provenientes da fração solúvel dos resíduos, os quais promovem a mobilização de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para camadas mais profundas (Franchini et al., 2003). Além disso, materiais orgânicos adicionados ao solo podem diminuir a acidez a partir dos ânions orgânicos, que são descarboxilados durante a decomposição e consomem prótons. Esses compostos formam complexos com o Al e reduzem sua fitotoxidez, favorecendo o crescimento do sistema radicular das plantas (Cai et al., 2023). A decomposição da biomassa também adiciona cátions básicos que aumenta a disponibilidade desses elementos no solo (Kelin et al., 2024). Por outro lado, a fixação de nitrogênio (N) pelas leguminosas pode acidificar o solo a partir de sua transformação em nitrato, especialmente quando parte deste elemento for perdido por lixiviação (Burle et al., 1997). A magnitude desses efeitos varia conforme a espécie utilizada, a quantidade de biomassa adicionada e as características físicas e químicas do solo (Sulaiman et al., 2023).

Além desses aspectos relacionados ao comportamento da acidez do solo, a cobertura vegetal pode melhorar a estrutura do solo, especialmente bioporos contínuos formados após a morte das raízes das plantas de cobertura, os quais possibilitam a movimentação vertical de partículas finas de calcário (Amaral et al., 2004). Este mecanismo de deslocamento auxilia na correção da acidez do solo em subsuperfície. Além disso, deve-se considerar que esses benefícios podem

estimular o aprofundamento do sistema radicular das fruteiras, com melhorias produtivas nos pomares (Gebler et al., 2019).

Embora o calcário seja comumente empregado como corretivo da acidez, o gesso agrícola pode ser utilizado em solos ácidos inférteis para a redução dos danos causados pela acidez no subsolo e para a redução da resistência à penetração das raízes em solos com camadas subsuperficiais adensadas. O gesso, mesmo que aplicado na superfície do solo, promove o desenvolvimento radicular em solos deficientes em Ca ou com saturação por Al elevada, amenizando a atividade do Al, aliviando sua toxidez.

#### **4. Gessagem em pomares adultos**

Embora a camada de 0-20 cm seja o padrão para avaliar a fertilidade do solo nas culturas anuais, frutíferas perenes como o pessegueiro apresentam sistema radicular vigoroso, explorando volumes de solo bem abaixo da camada arável. Portanto, é crucial monitorar impedimentos químicos às raízes na subsuperfície, em particular com relação às concentrações de Ca e Al<sup>3+</sup>. Ademais, a natureza perene dos pomares de pêssigo implica em uma atividade de longo prazo, cujo sistema radicular permanece explorando praticamente o mesmo volume de solo, razão pela qual o ambiente radicular, em especial com respeito ao manejo da acidez é crucial, exigindo máxima atenção, visto ser essa característica uma das que mais interfere na produtividade, particularmente nas regiões tropicais e subtropicais. Outro aspecto importante é que o pessegueiro é uma frutífera que se destaca pela elevada demanda por cálcio, cujo teor foliar adequado é maior que o dos macronutrientes P, K, Mg e S, sendo superados apenas pelo N (CQFS-RS/SC, 2016). Essa alta exigência sublinha a importância estratégica de práticas agrícolas como a calagem e a gessagem na persicultura para o aporte contínuo de cálcio.

É evidente a importância do sistema radicular para todos os vegetais, uma vez que existe dependência estreita entre o crescimento radicular e o desenvolvimento da parte aérea. Adicionalmente, o manejo de frutíferas na fase de

produção frequentemente envolve doses elevadas de nitrogênio, aplicadas repetidamente na projeção da copa, contribuindo para agravar ainda mais o problema da acidez, tornando indispensável o monitoramento constante da fertilidade por meio das análises químicas do solo.

Diante desse cenário, amenizar o problema da acidez do solo em pomares já implantados representa um enorme desafio, principalmente pelas limitações operacionais, bem como devido ao risco de danos às raízes superficiais, tornando-as porta de entrada ao ataque de pragas e doenças. Por isso, a aplicação de corretivos, fundamental para neutralizar a acidez do solo e melhorar a disponibilidade de nutrientes, torna-se uma operação complexa (Quaggio, 2000).

Tendo em vista a baixa solubilidade dos calcários comuns, bem como a recomendação de não incorporar esse insumo em pomares estabelecidos, a calagem pode não ser suficientemente efetiva para fornecer Ca e amenizar a toxidez de  $Al^{+3}$  nas camadas mais profundas. O excesso de  $Al^{+3}$  no solo é uma barreira química que limita o crescimento radicular das culturas. Nesse contexto, abre-se espaço para outra prática agrícola essencial, a gessagem, cujos benefícios na subsuperfície permitem que culturas perenes, com amplo e robusto sistema radicular como o pessegueiro, explorem o solo em maiores profundidades. Embora haja escassez de estudos específicos sobre gessagem em frutíferas, particularmente em pessegueiro, os relatos da literatura em culturas anuais e algumas perenes demonstram a viabilidade técnica e os benefícios desta prática agrícola na melhoria da camada subsuperficial do solo (Raij, 2013; Vitti et al., 2008).

O gesso ( $CaSO_4$  - sulfato de cálcio) é um condicionador de solo, sendo uma excelente fonte de Ca (20 %) e de S (16–18 %), e que tem sido utilizado para incrementar as concentrações de ambos os macronutrientes e reduzir a saturação por Al (*m*) em solos ácidos (Raij et al., 1997; Raij, 2013), além de elevar a relação Ca: Al e a soma de bases (SB), devido à maior mobilidade do gesso, se comparado ao calcário. Essa elevada solubilidade e mobilidade do gesso no perfil

do solo elimina a obrigatoriedade de incorporação do produto, o que é de extrema importância nos pomares já instalados, evitando a mobilização do solo e os eventuais problemas de danos mecânicos ao sistema radicular do pessegueiro.

A saturação por Al ( $m$ ) é representada pela equação (Raij, 2013):

$$m(\%) = \frac{100 \times Al}{SB + Al} \quad \text{Equação 1}$$

Baixa disponibilidade de Ca, associada a elevada presença de  $Al^{+3}$  na camada subsuperficial, restringe o aprofundamento do sistema radicular, reduzindo o volume de solo explorado e limitando a absorção de água e nutrientes pela cultura. O excesso de  $Al^{+3}$  prejudica a divisão e a alongação celular das raízes, comprometendo seu crescimento. A deficiência de Ca, por sua vez, inibe a expansão radicular devido ao papel estrutural que esse nutriente desempenha na integridade das membras e da parede celular das raízes. Assim, o crescimento desse órgão depende da atividade do meristema apical, região de intensa divisão celular e que garante a expansão das raízes no solo, sendo o local em que ocorre a absorção de nutrientes (Taiz et al., 2017). O que distingue o Ca dos demais elementos essenciais é que esse macronutriente só é absorvido pelas extremidades jovens das raízes das plantas. Assim, para crescer, as raízes devem ‘encontrar’ em seu caminho Ca suficiente o tempo todo (Quaggio & Raij, 2022). Sendo um elemento pouco móvel no interior da planta (reduzida redistribuição via floema), a disponibilidade de cálcio no solo e sua consequente absorção deve ser assegurada ao longo de todo o ciclo vegetativo/reprodutivo da cultura. Esse é um dos principais motivos para que a aplicação de gesso e, também de calcário, sejam realizadas em área total nos pomares, quando necessário (Natale et al., 2025).

A justificativa para a maior mobilidade do gesso, comparativamente ao calcário, é que o Ca aplicado na forma de carbonato (calcário) tem movimento descendente mais lento e gradual, devido a ação neutralizante do íon carbonato ( $CO_3^-$ ), que interage com a matriz coloidal do solo e libera cargas elétricas

negativas que dificultam o movimento descendente do cátion ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Se o ânion acompanhante é o sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), porém, o movimento do Ca é mais rápido que o do carbonato, o que explica como o gesso atinge a subsuperfície mais efetivamente que o calcário (Quaggio & Raij, 2022).

O gesso realiza a complexação do  $\text{Al}^{3+}$ , mas pouco afeta o pH do solo, não mais do que 0,3 unidades, mesmo quando aplicado em doses elevadas, pois sua reação não libera íons oxidrila ou carbonato (Meurer, 2006). Assim, a técnica da gessagem não substitui a calagem, visto não ter praticamente efeito sobre a correção da acidez do solo, pois não neutraliza os íons  $\text{H}^+$  da solução, sendo complementar, porém, no fornecimento de Ca, em especial para as camadas mais profundas.

De acordo com Vitti et al. (2008), ao ser aplicado ao solo com umidade suficiente, o gesso passará pelo processo de dissolução, visto que é um sal:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{CaSO}_4^0$ . Na solução do solo, os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) são liberados ao meio, enquanto o  $\text{CaSO}_4^0$ , devido a sua alta mobilidade e solubilidade (cerca de 150 vezes maior que a do carbonato de cálcio), migrará para camadas mais profundas do perfil do solo, formando pares iônicos ( $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{KSO}_4^-$ ), aumentando na subsuperfície a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ . O  $\text{Ca}^{2+}$  substitui os íons  $\text{Al}^{3+}$  dos sítios de troca do solo, enquanto o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  reage com este  $\text{Al}^{3+}$  livre na solução, formando complexos de alumínio-sulfato ( $\text{AlSO}_4^+$ ), que é um precipitado não tóxico ao sistema radicular das plantas.

É necessário destacar que o ânion  $\text{SO}_4^{2-}$  favorece a descida/percolação de cátions como o  $\text{Ca}^{2+}$ , o  $\text{Mg}^{2+}$  e o  $\text{K}^+$  no perfil, daí a importância de utilizar doses de gesso adequadas a cada tipo de solo, evitando lixiviação para além do alcance das raízes (Sousa & Lobato, 2004). A dose de gesso a ser aplicada deve estar embasada em critérios técnicos e análise de solo da subsuperfície, a fim de evitar custos de produção desnecessários, além de efeitos indesejados como a lixiviação de cátions trocáveis, deficiências de nutrientes e baixos rendimentos das culturas (Malavolta, 1989), especialmente em solos de textura arenosa.

A gessagem só deve ser praticada sob condições particulares como, por exemplo, as definidas no estado de São Paulo (Raij et al., 1997): quando a análise de solo da camada de 20-40 cm revelar concentrações de Ca inferiores a  $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e de  $\text{Al}^{3+}$  superiores a  $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e/ou saturação por alumínio (*m*) acima de 40 %. Assim, do mesmo modo que para os corretivos e os adubos, as doses de gesso devem ter por base, impreterivelmente, a análise de solo. Isso evita que a aplicação de altas doses desse produto causem redução na concentração de potássio na camada superficial, particularmente em condições que favorecem o transporte de K no perfil associado ao ânion  $\text{SO}_4^-$ , como em solos arenosos (Raij, 2013).

Algumas publicações indicam equações para determinar a necessidade de gesso (NG) para solos de clima tropical, como a equação 2 (Raij et al., 1997) ou a equação 3 proposta por (Sousa & Lobato, 2004), sendo a dose obtida em função da concentração de argila presente na camada de 20-40 cm do solo. Já a equação 4 (Caires & Guimarães, 2016) para a região Sul do Brasil utiliza a CTC efetiva do solo e a concentração de Ca trocável da camada 20-40 cm. Porém, para os estados do RS e SC não há recomendação ou diretrizes oficiais para o uso do gesso (CQFS-RS/SC, 2016).

$$NG (\text{Mg ha}^{-1}) = \text{argila} (\%) \times 60 \quad \text{Equação 2}$$

$$NG (\text{Mg ha}^{-1}) = \text{argila} (\%) \times 50 \quad \text{Equação 3}$$

$$NG (\text{Mg ha}^{-1}) = [0,6 \times CTC_{\text{efetiva}} - Ca (\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3})] \times 6,4 \quad \text{Equação 4}$$

No estado do Paraná (PR), de acordo com Pauletti & Motta (2019), o aumento de produtividade das culturas, em resposta a aplicação de gesso agrícola, tem sido mais frequentemente observado em áreas onde a análise de solo, na profundidade de 20 a 40 cm, indica saturação por Al superior a 20 % e/ou quando o nível de Ca é inferior a  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  também nesta camada. Nesses casos, a dose de gesso sugerida é de 700, 1.200, 2.200 e 3.200  $\text{kg ha}^{-1}$  para solos com até

200 g kg<sup>-1</sup> de argila, de 200 a 400 g kg<sup>-1</sup> de argila, de 400 a 600 g kg<sup>-1</sup> de argila e com mais de 600 g kg<sup>-1</sup> de argila, respectivamente, sendo de cinco anos o efeito residual mínimo dessas doses.

É importante ressaltar que devido ao longo efeito residual, investir recursos financeiros em práticas como a calagem e a gessagem garante benefícios mais duradouros e amortizáveis ao longo de várias safras, diferentemente do que ocorre com a adubação tradicional, por exemplo.

Como alternativa à prática da gessagem pode-se empregar o superfosfato simples, quando das adubações com P. Isso porque, esse adubo fosfatado tem em sua composição quantidade significativa de gesso, levando ao solo Ca, S e complexando o alumínio tóxico (Natale & Rozane, 2018).

## **5. Considerações Finais**

As evidências reunidas neste capítulo demonstram que a correção da acidez do solo é um dos pilares para a sustentabilidade e a produtividade dos pomares de pessegueiro cultivados em solos subtropicais brasileiros. A calagem, quando realizada de forma criteriosa e, preferencialmente, antes da implantação do pomar, corrige limitações químicas severas, neutraliza o Al tóxico, eleva o pH a níveis adequados e aumenta a disponibilidade de nutrientes, especialmente Ca, Mg e P. A incorporação adequada do corretivo antecedendo a implantação do pomar representa a única oportunidade real de modificar o ambiente radicular em profundidade, prevenindo restrições químicas que comprometem o crescimento das plantas e reduzem o potencial produtivo ao longo de todo o ciclo da cultura.

Em pomares já estabelecidos, embora a calagem superficial tenha limitações inerentes à baixa mobilidade do corretivo, sua utilização continua sendo necessária para mitigar a reacidificação induzida pelo manejo e para manter um ambiente químico favorável na camada explorada pelas raízes. A eficiência dessa prática é ampliada pela adoção de coberturas vegetais que contribuem para a melhoria física e biológica do solo, aumentam a mobilização de cátions básicos e

favorecem a descida gradual dos produtos da solubilização do calcário, além de desempenharem papel relevante no controle da erosão do solo. Por fim, destaca-se também a importância estratégica da gessagem como tecnologia complementar para melhorar o ambiente subsuperficial, camada frequentemente inacessível à calagem superficial nos pomares em produção, promovendo o deslocamento de cálcio e aliviando os efeitos tóxicos do alumínio em profundidade.

## 6. Referências Bibliográficas

- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HEINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 359-367, 2004.
- BALOCH, S.A.; ALI, S.; BERNAS, J.; KONVALINA, P.; NAVEED, M.; BALOCH, F.B.; JAMALI, Z.H.; LOSAK, T.; ROUBIK, H.; GHAFOR, A.; MEHMOOD, H.; MUSTAFA, A. Crop residue management for soil health and environmental sustainability: A comprehensive review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 25, p. 7808-7828, 2025.
- BENATI, J. A.; NAVROSKI, R.; BARRETO, C. F.; FISCHER, L. de O.; NAVA, G.; FRANZON, R. C.; HERTER, F. G.; COSTA, M. D. Liming and Phosphating on growth, nutritional status and mycorrhizal colonization of yellow strawberry guava. **Scientia Agricola**, v. 79, 2022
- BURLE M.L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant Soil**, v. 190, p. 309-316, 1997.
- CAI, Z.; YANG, C.; CARSWELL, A.M.; ZHANG, L.; WEN, S.; XU, M. Co-amelioration of red soil acidity and fertility with pig manure rather than liming. **Soil Use and Management**, v. 39, p. 441-455, 2023.
- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.
- CAIRES, E.F.; GUIMARÃES, A.M. Recomendação de gesso para solos sob plantio direto da região sul do Brasil. In: **Anais do Fertbio 2016**, Goiânia. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 486.
- CQFS – RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, 2016. 375p.
- DEMESTIHAS, C.; PLENET, D.; GENARD, M.; RAYNAL, C.; LESCOURRET, F. Ecosystem services in orchards. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 2, 2017.
- ERNANI, P.R. ; MIQUELUTTI, D.; FONTOURA, S.M.V.; KAMINSKI, J.; ALMEIDA, J.A. Downward movement of soil cations in highly weathered soils caused by addition of gypsum. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, n. 3-4, p. 571-586, 2006.
- FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, p.2045-2058, 2003.

GEBLER, L.; NAVA, G.; BAMBERG, A.L.; CARVALHO, F.L.C.; PILLON, C.N.; RUFATO, A.R.; PEREIRA, F.M. **Manejo do solo em fruticultura de clima temperado**. In: BERTOL, I.; MARIA, I.C.; SOUZA, L.S (Eds.) Manejo e conservação do solo e da água. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 961-981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1613>>. Acesso em: 17 de fev. 2025.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. D.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. D. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 573-580, 2005.

KELIN, C.; YIHENG, L.; HENG, Z.; KANG, L.; YUNFEI, Y.; YINGJIE, Z.; KEMING, T. The effect of pruned tea leave biochar and cattle manure for soil acidification. **Soil Use and Management**, v. 40, e13091, 2024.

KOLLER, O.C; KOLLER, O.L.; SOPRANO, E. ANDREOLA, F. **Manejo do pomar**. In: Citricultura catarinense. 1<sup>ed</sup>. Florianópolis: Epagri, 2013. p. 277-310.

MALAVOLTA, E. 1989. **ABC da adubação**. 5<sup>ed</sup>. São Paulo: Agronômica Ceres. 292 p.

MEURER, E.J. 2006. **Fundamentos de química do solo**. 3<sup>ed</sup>. 285 p.

NATALE, W.; ROZANE, D.E. 2018. **Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas**. Registro: Unesp. 124 p.

NATALE, W.; ROZANE, D.E.; BRUNETTO, G.; PARENT, L.E.; ARTUR, A.G.; LIMA NETO, A.J. **Frutíferas: calagem, adubação e nutrição**. Tópicos em Ciência do Solo, v. 13, p.178-217, 2025.

NAVA, G.; MOURA-BUENO, J. M.; HAHN, L.; BARRETO, C. F.; BENATI, J. A.; BRUNETTO, G.; NAVROSKI, R.; HINDERSMANN, J.; PAESE, B. T.; DE PAULA, B. V. **Calagem, adubação e estado nutricional em pessegueiro**. In: BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; MOTERLE, D.F.; TIECHER, T.L.; HAHN, L.; MELHO, G.W.B. (Eds.). Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas. Santa Maria: Núcleo Regional Sul- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2025. p. 383-404.

NAVA, G.; SETE, P. B.; NACHTIGALL, G. R.; MOURA-BUENO, J. M.; BRUNETTO, G.; MULAZZANI, R. P.; CIOTTA, M. N. **Balanço de nutrientes em pomares**. In: BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; LOSS, A.; NATALE, W. (Eds.). Estratégias de manejo para melhorar o aproveitamento de nutrientes em frutíferas. Santa Maria: Palotti, 2023. p. 53-75.

PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. 2019. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCE/NESPAR. 289 p.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. 2022. **Manejo da acidez do solo**. In: Cantarella, H. et al. (ed.). Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 3<sup>ed</sup>. Campinas: IAC, 61–85.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2013. 233 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. 285 p.

SULAIMAN, S.; NAVARANJAN, N.; RAMIREZ, G.H.; SULAIMAN, Z. Plant residues ameliorate pH of agricultural acid soil in a laboratory incubation: A meta-analysis. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 186, p. 330-338, 2023.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008, 104p.

Seleção de cultivares de pessegueiro mais eficientes na absorção de nutrientes



## Capítulo 8

# Adubação em pomares de pessegueiro no Rio Grande do Sul

Gustavo Brunetto<sup>(1)</sup>  
Carina Marchezan<sup>(2)</sup>  
Paola Daiane Welter<sup>(3)</sup>  
Danilo Eduardo Rozane<sup>(4)</sup>  
William Natale<sup>(5)</sup>  
Leandro Hahn<sup>(6)</sup>  
Gilberto Nava<sup>(7)</sup>  
Jean Michel Moura-Bueno<sup>(8)</sup>  
Jacson Hindersmann<sup>(9)</sup>

## Resumo

O manejo adequado da fertilidade do solo e da nutrição mineral é um dos principais fatores para a sustentabilidade e a produtividade de pomares de pessegueiro. Devido às características dos solos tropicais e subtropicais, geralmente ácidos e com baixa disponibilidade natural de nutrientes, a aplicação de

---

<sup>(1)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq 1B. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

<sup>(2)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: marchezancarina@gmail.com

<sup>(3)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Produção Vegetal. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: paoladwelter@gmail.com

<sup>(4)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Registro, SP, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: danilo.rozane@unesp.br

<sup>(5)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: natale@ufc.br

<sup>(6)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutora em Ciência do Solo. Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri), Estação Experimental de Urussanga, Urussanga, SC, Brasil. E-mail: leandrohahn@epagri.sc.gov.br

<sup>(7)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo. Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPACT), Pelotas, RS, Brasil. E-mail: gilberto.nava@embrapa.br

<sup>(8)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: buenोजean1@gmail.com

<sup>(9)</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: jacsonjh7@gmail.com

corretivos e fertilizantes torna-se prática essencial para garantir o desenvolvimento vegetativo, a formação do pomar e a produção de frutos com qualidade. Entretanto, a dinâmica dos nutrientes no solo, associada a processos como adsorção, lixiviação, volatilização etc., frequentemente reduz a eficiência de uso dos fertilizantes, elevando os custos de produção e os potenciais riscos ambientais. Nesse contexto, estratégias de manejo baseadas no diagnóstico da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas, bem como na adoção de práticas de adubação mais assertivas, considerando épocas de aplicação, melhores doses e fontes, além do modo de aplicação e uso de novas tecnologias como os bioinsumos, tornam-se fundamentais para aumentar a eficiência de aproveitamento dos nutrientes. Em função disso, este capítulo apresentará um compilado dos conhecimentos relacionados à nutrição e adubação do pessegueiro, incluindo adubação de pré-plantio, crescimento e produção, diagnóstico nutricional e alternativas de manejo voltadas à sustentabilidade dos sistemas de produção.

**Palavras-chave:** Manejo nutricional; *Prunus persica* sp.; Fertilidade do solo; Adubação mineral; Bioinsumos.

## **1. Introdução**

A adequada nutrição mineral representa na fruticultura um dos aspectos mais importantes para alcançar sucesso nessa atividade. O pessegueiro, assim como a maioria das frutíferas, tem grande exigência nutricional, seja na etapa de implantação do pomar para o estabelecimento inicial das mudas, seja durante a fase de crescimento/desenvolvimento para a expansão das raízes e ampliação da copa. Além disso, no período de produção plena, a demanda de nutrientes é bastante elevada em função da renovação do sistema radicular, bem como da parte aérea devido as podas anuais e, ainda, em consequência da exportação de elementos essenciais pelos frutos à cada ciclo produtivo.

Por outro lado, os solos tropicais e subtropicais, como os da maior parte do Brasil têm, em geral, reação ácida e baixa reserva de nutrientes, o que torna

imperativa a aplicação de quase totalidade dos nutrientes exigidos para o pleno desenvolvimento das culturas. Desse modo, fatores ligados à planta e ao solo conduzem à utilização de quantidades elevadas de corretivos e fertilizantes nos pomares, o que pressupõe competência técnica que compense economicamente o uso desses insumos. Entretanto, um ambiente adverso para as raízes pode comprometer o aproveitamento dos elementos aplicados via fertilizantes. Assim, frequentemente, as respostas à adubação são inibidas devido à reação ácida dos solos.

Em função das condições edafoclimáticas do país, a dinâmica dos nutrientes aplicados como fertilizantes ao solo favorece as perdas por lixiviação, adsorção, volatilização, desnitrificação, erosão etc., daí a necessidade de pesquisas para estabelecer os melhores valores de teores de nutrientes no solo e em folhas, melhores doses, épocas, localização e tipo de fertilizante a ser aplicado. De acordo com Fageria (2014), as estimativas são de que apenas 20-30% do total de nutrientes fornecidos como fertilizantes sejam absorvidos, especialmente, nos primeiros anos de adubação. Assim, pode-se afirmar que a maioria das espécies de interesse econômico tem baixa eficiência de absorção, por causa da dinâmica dos nutrientes no solo. Por outro lado, em virtude da seleção da maioria das cultivares, atualmente em uso, ter sido realizada em ambiente de alta disponibilidade de nutrientes durante o melhoramento genético, torna-se obrigatória a aplicação de elevadas doses de fertilizantes para a obtenção de rendimentos satisfatórios, aumentando os custos de produção e os riscos de contaminação ambiental.

O manejo racional, eficiente e sustentável de nutrientes nos pomares de frutas implica no monitoramento da disponibilidade de elementos essenciais, no conhecimento de sua dinâmica no solo, na cinética de absorção pelas plantas e nas exigências da cultura nos diferentes estádios fenológicos, o que possibilita o estabelecimento de estratégias para um plano de adubação sustentável. Neste capítulo, será utilizada a literatura atualmente disponível sobre o tema, buscando-se explorar os potenciais mecanismos para melhorar a eficiência e os benefícios da

aplicação de fertilizantes na cadeia produtiva do pessegueiro, bem como as limitações e os desafios dessa prática agrícola.

## 2. Adubação de pré-plantio

A calagem, quando há reação ácida do solo, conforme discutido no capítulo 7 deste livro, deve ser realizada pelo menos três meses antes da adubação de pré-plantio, a fim de que os benefícios dessa prática agrícola contribuam para a melhoria do ambiente radicular para as mudas de pessegueiro, mas, também, para o aumento da eficiência de utilização dos fertilizantes adicionados nesta fase, reduzindo a adsorção de fósforo (P) e a lixiviação de potássio (K).

As quantidades de fertilizantes fosfatados e potássicos a serem aplicadas em pré-plantio dependem da disponibilidade desses nutrientes no solo, indicadas via análise química para fins de fertilidade. P e K devem ser aplicados sempre que estiverem nas seguintes classes de interpretação (extrator Mehlich-1): muito baixo, baixo, médio e alto, de acordo com os valores apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Quantidades de P e K recomendadas em pré-plantio para espécies frutíferas, como o pessegueiro, em função das concentrações de P e K disponíveis no solo

Classes de disponibilidade de P e K no solo	Nutrientes <sup>(1)</sup>	
	Fósforo	Potássio
	kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	kg de K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>
Muito baixo	250	150
Baixo	170	90
Médio	130	60
Alto	90	30
Muito alto	0	0

<sup>(1)</sup> Dependendo do tipo de solo, da espécie frutífera e do sistema de produção, essas doses podem ser aumentadas ou diminuídas a critério do técnico responsável pelo pomar. Fonte: Adaptado CQFS-RS/SC (2016).

Conforme a orientação da CQFS-RS/SC (2016), os adubos P e K devem ser aplicados em área total, por ocasião do preparo do solo, e incorporados

preferencialmente com arado ou grade pesada. Entretanto, Brunetto et al. (2023) fazem uma reflexão sobre essa recomendação. O Brasil é inteiramente dependente das importações de fertilizantes que, em 2024, representaram cerca de 72 e 97 % do consumo nacional de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  respectivamente (ANDA, 2025). Essa dependência é uma questão difícil de solucionar no curto prazo e, além disso, o fornecimento mundial desses insumos é dominado por poucos países; considerando que os fertilizantes são *commodities*, o Brasil fica sujeito aos humores do mercado internacional. Esta abordagem está fundamentalmente divorciada da realidade da produção agrícola, visto que a dependência cada vez maior de fertilizantes importados deixa a economia brasileira, fortemente apoiada no Agronegócio, aí incluída a fruticultura, vulnerável às oscilações externas.

Além do contexto econômico e político da questão dos fertilizantes, a aplicação e a incorporação de nutrientes em área total nas culturas perenes implicam em que, parte do P poderá ser adsorvido, com elevado grau de energia, a grupos funcionais de partículas inorgânicas reativas do solo, o que diminui a disponibilidade e a difusão de P no solo (Brunetto et al., 2013) e, por consequência, a absorção pela frutífera. A adsorção de P será maior em solos mais argilosos. Por outro lado, em solos arenosos, a incorporação de fertilizantes fosfatados e potássicos pode diluir as concentrações de P e K no perfil (Ciotta et al., 2020), reduzindo a probabilidade de ocorrer difusão e, o consequente contato íon-raiz, sendo esse o processo mais relevante para a aquisição de ambos os nutrientes pelas culturas. Convém destacar, ainda, que em solos arenosos, com baixos valores de capacidade de troca de cátions ( $CTC_{pH7,0}$ ), submetidos a elevadas doses de fertilizantes potássicos, pode ocorrer lixiviação de K. Outro aspecto que precisa ser considerado é que o sistema radicular de uma frutífera recém-implantada demora até alcançar a entrelinha. Assim, se P e K forem aplicados nessa região por ocasião da implantação do pomar, com o passar do tempo esses macronutrientes podem ser fixados (P) ou lixiviados (K), antes que as raízes tenham oportunidade de aproveitá-los. Em razão de tudo isso, em ambos os casos, a

eficiência de aproveitamento desses dois nutrientes aplicados nas entrelinhas seria baixa.

Toselli et al. (2022) complementam, indicando que em pomares em implantação, elementos pouco móveis no solo, como P e K, devem ser posicionados próximos ao local de crescimento das raízes (sulco ou cova), dado ao restrito volume de solo explorado pelas frutíferas nos primeiros anos.

Por outro lado, quando se adota a prática de aplicar P e K em área total na implantação dos pomares, busca-se favorecer as plantas de cobertura, nativas ou que serão cultivadas na entrelinha. No contexto atual de dependência do Brasil dos insumos importados, do aumento nos custos dos fertilizantes e das incertezas de aquisição dessas *commodities* no mercado internacional, é preciso avaliar se essa prática compensa, uma vez que, o volume de fertilizante a ser aplicado será maior comparado a aplicação apenas no sulco de plantio. Por outro lado, não há dúvida dos benefícios das plantas de cobertura na proteção da entrelinha dos pomares. Porém, é possível encontrar espécies, principalmente nativas, capazes de prosperar em ambiente com baixa fertilidade natural sem a necessidade de aplicar nas entrelinhas fertilizantes fosfatados e potássicos. Afinal, o que se espera das plantas de cobertura, além da proteção do solo, é a exploração das camadas mais profundas, reciclando elementos da subsuperfície e incorporando-os à sua biomassa.

Uma vez definida a dose e, tendo em vista as considerações feitas nos parágrafos anteriores, sugere-se, preferencialmente, que os fertilizantes P e K sejam aplicados de forma localizada, ao longo do sulco de plantio que receberá a muda da frutífera, conforme previsto no Manual da CQFS-RS/SC (2016). Considerando isso, as doses de fertilizantes fosfatados e potássicos preconizadas para um hectare deverão ser ajustadas para a área do sulco de plantio (metro linear de sulco), de acordo com o espaçamento da cultura. No exemplo utilizado por Brunetto et al. (2023) para vinhedos (3 m entre linhas e 1,5 m entre plantas), cuja interpretação de P e K no solo foi “muito baixo”, a recomendação resultou em

economia de 67 % de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  por hectare. Assim, a proposição de ajuste na recomendação de fósforo e potássio em pré-plantio para frutíferas, como o pessegueiro, poderá contribuir para a racionalização do uso de fertilizantes, mas com a manutenção de elevadas produtividades e frutos com qualidade nutricional.

Finalmente, é oportuno enfatizar que a prática da calagem favorece a disponibilidade de fósforo na solução do solo; porém, pH elevado induz a formação de fosfato tricálcico que é insolúvel. Desse modo, não se deve aplicar calcário e adubo fosfatado na cova ou sulco de plantio na implantação dos pomares. Isso porque, nessa área restrita, o corretivo pode elevar o pH e liberar Ca, promovendo a precipitação do fósforo adicionado como adubo, favorecendo o fenômeno conhecido como retrogradação (Novais et al., 2007).

### **3. Adubação de crescimento**

A adubação de crescimento é realizada até o terceiro ano após a instalação do pomar, complementando a adubação de pré-plantio e fornecendo nutrientes às plantas durante a fase de formação. Basicamente, o N é o único nutriente aplicado nesta fase. Entretanto, se as plantas apresentarem sintomas de deficiência, outros nutrientes devem ser aplicados. Nos pomares corretamente corrigidos na implantação, a necessidade de aplicação de outros nutrientes somente será necessária quando há falta de umidade no solo, o que limita o suprimento e a absorção dos nutrientes, mesmo estando em concentrações adequadas no solo.

Embora a matéria orgânica não apresente forte correlação com a disponibilidade imediata de nitrogênio, ainda é amplamente utilizada como indicador indireto na recomendação desse nutriente. Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, RS/SC, 2016), as quantidades de N sugeridas durante a fase de crescimento do pessegueiro variam de acordo com o teor de matéria orgânica do solo e com a idade do pomar (Tabela 2).

**Tabela 2.** Recomendação de N para a fase de crescimento do pessegueiro, em função do teor de matéria orgânica do solo e da idade das plantas

Teor de matéria orgânica no solo	Anos após o plantio		
	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>
(%)	----- kg de N ha <sup>-1</sup> -----		
0 a 2,5	50	60	80
2,6 a 5,0	40	50	60
> 5,0	20	30	40

Fonte: Adaptado CQFS-RS/SC (2016).

As doses devem ser parceladas em 3 vezes, a partir do início da brotação, em intervalos de 45 dias. Especificamente para o primeiro ano, a primeira dose deverá ser aplicada somente após 30 dias do início da brotação das mudas (CQFS, RS/SC, 2016). Em solos arenosos, devido à baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, o parcelamento da adubação nitrogenada pode ser realizado em mais vezes, o que reduz as perdas por lixiviação e aumenta a eficiência de uso do nutriente. Os adubos nitrogenados devem ser aplicados na área abrangida pela projeção da copa das plantas.

Na fase de crescimento, a adubação orgânica, por meio de esterco e compostos, pode constituir uma estratégia mais eficiente para o fornecimento de N, quando comparada à adubação mineral, uma vez que o sistema radicular ainda é pouco desenvolvido, principalmente no primeiro ano após o plantio. Esta superioridade não reside necessariamente no conteúdo total de N aplicado, mas sim na eficiência de uso do nutriente. A liberação gradual de N, resultante da mineralização microbiana dos compostos orgânicos, sincroniza-se mais eficazmente com a demanda das plantas, reduzindo drasticamente as perdas por lixiviação e/ou volatilização. Adicionalmente, a adição de compostos orgânicos promove a melhoria contínua dos atributos físicos e biológicos do solo, criando um

ambiente mais favorável ao desenvolvimento radicular e à atividade microbiana, além de constituir uma estratégia para a redução no uso de adubos minerais.

Complementarmente à aplicação de compostos e esterco, a adubação verde, particularmente com o emprego de leguminosas, consolida-se como outra estratégia de alta eficiência para a ciclagem e suprimento de N em pomares novos. Além do aporte direto de N, a adubação verde confere outros benefícios, como a proteção do solo contra a erosão, a supressão de plantas espontâneas e a reciclagem de nutrientes de camadas mais profundas do perfil do solo (Figura 1).



**Figura 1.** Plantas de pessegueiro na fase de crescimento, cultivar ‘BRS RubraMoore’, com solo coberto por mistura de plantas de cobertura, incluindo aveia, ervilhaca e nabo forrageiro. Foto: Gilberto Nava.

#### 4. Adubação de produção

A adubação de produção em pessegueiro tem como principal finalidade manter a fertilidade do solo e suprir os nutrientes exportados pelos frutos e removidos do sistema pela colheita. Nessa fase, comumente são aplicados N, P e K, podendo ocorrer, em alguns casos, suplementação de micronutrientes para espécies mais exigentes (Brunetto et al., 2016). As recomendações de adubação de produção para o pessegueiro baseiam-se nos teores de nutrientes presentes nas folhas, considerando a produtividade esperada (CQFS, RS/SC, 2016), conforme a tabela 3. Os níveis adequados de nutrientes na planta durante a frutificação garantem, ao final da safra, maior quantidade de frutos, calibre adequado e qualidade superior.

**Tabela 3.** Classes de valores para a interpretação dos teores de macro e micronutrientes em folhas completas de pessegueiro

Classes	N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Insuficiente	< 20,0	< 0,5	< 5,0	< 6,5	< 2,0
Normal	33,0 - 45,0	1,5 - 3,0	14,0 - 20,0	17,0 - 26,0	5,0 - 8,0
Excessivo	> 60,0	> 4,0	> 28,0	> 36,0	> 12,0
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
Insuficiente	< 50	–	< 10	< 20	< 3
Normal	100 - 230	6 - 30	24 - 37	30 - 160	30 - 60
Excessivo	> 330	> 50	> 50	> 400	> 90

Fonte: Adaptado CQFS-RS/SC (2016).

O N é o principal limitante da produtividade em pomares de pessegueiro; sua insuficiência pode resultar em retardo no desenvolvimento radicular, afetando

a absorção de água e nutrientes, além de reduzir o vigor das plantas, o que impacta negativamente a produção (Bravo et al., 2015; Barreto et al., 2020; Ferreira et al., 2018). Além disso, sua deficiência pode prejudicar a frutificação efetiva, diminuindo a qualidade das gemas floríferas (Gomez et al., 2020). Por outro lado, o excesso de N pode estimular crescimento vegetativo excessivo, aumentar a incidência de doenças e comprometer a qualidade dos frutos, sobretudo na pós-colheita (Ferreira et al., 2018; Dolinski et al., 2018).

O K, por sua vez, é o nutriente mais exportado pelos frutos e desempenha funções essenciais, como ativação enzimática, transporte através de membranas, expansão celular, fotossíntese e acúmulo de carboidratos (Rombolà et al., 2012; Marschner, 2011; Brunetto et al., 2015). Devido a sua elevada demanda, deve ser suplementado anualmente. Em relação ao P, estudos que avaliam a influência de sua suplementação na fase de produção são escassos, sendo este o macronutriente requerido em menor quantidade pelo pessegueiro (Nava et al., 2025).

#### **4.1 Níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes**

O atual sistema oficial de recomendação de calagem e adubação de frutíferas nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) estabelece a necessidade e as doses de nutrientes com base nos teores de nutrientes no solo e no tecido (CQFS-RS/SC, 2016). No entanto, os valores de referências, por exemplo, teores de nutrientes no solo e no tecido de plantas, geralmente folhas, na maioria das vezes são trazidos da literatura de outros países, e poucos valores de referência foram obtidos em experimentos de calibração de adubações para as condições de solo, clima e sistemas de manejo das regiões produtoras no Brasil. Sendo assim, existe ainda a necessidade de ajustes no sistema oficial de recomendação de adubação dos estados do RS e SC, principalmente em relação a geração de valores de referências de nutrientes no solo e em folhas, que auxiliem na tomada de decisão da necessidade de aplicação de nutrientes, em pomares de pessegueiros em produção.

Os valores de referência (nível crítico - NC e faixa de suficiência - FS) mais adequados podem ser obtidos através de experimentos de calibração regionais, considerando as principais cultivares exploradas na região, resultando em um banco de dados robusto que, associado ao emprego de técnicas de aprendizado de máquina (*machine learning*), possibilitará através do ajuste de regressões relacionar o teor de nutrientes e a produção de frutos para a proposição de NC e FS de nutrientes no solo e em folhas de pessegueiro.

Os padrões de NC e FS indicados seguem o padrão de amostragem foliar proposto por CQFS-RS/SC (2016), que corresponde para cada talhão a uma amostra de folha composta, constituída pelo agrupamento de 25 amostras de folhas simples. Em cada uma das plantas, a amostragem de folhas completas (limbo + pecíolo) foi realizada coletando-se a folha da parte mediana dos ramos emitidos no ano, em cada um dos pontos cardeais (Leste, Oeste, Norte, Sul), entre a 13<sup>o</sup> e a 15<sup>a</sup> semana após a plena floração. Portanto, este deve ser o método de amostragem a ser usado.

Os NC e FS de nutrientes em folhas para o pessegueiro indicados no Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), apresentam valores generalistas para cultivares exploradas nos dois estados (RS e SC). Por outro lado, a pesquisa tem gerado, nos últimos cinco anos, valores de referência de nutrientes regionais. Exemplo disso, são os valores de NC e FS de nutrientes no solo para camada de 0–20 cm de pomares da Serra Gaúcha (Tabela 4) (Nava et al., 2025). Observa-se que as FS de P e K propostas são mais estreitas quando comparadas àquelas publicadas pela CQFS-RS/SC (2016), com destaque para os teores de K no solo. O NC de fósforo disponível, determinado pelo extrator Mehlich-1, foi de 24 mg dm<sup>-3</sup>, e apresentou valor superior ao considerado adequado para a cultura do pessegueiro segundo os critérios da recomendação oficial regional (CQFS-RS/SC, 2016). Da mesma forma, o NC de potássio foi de 190 mg dm<sup>-3</sup>, também acima dos valores preconizados como adequados.

É importante destacar que os valores propostos na Tabela 4, tiveram como objetivo estabelecer valores específicos de NC e FS de P e K no solo para a cultura do pessegueiro, as quais, nas recomendações oficiais vigentes, são agrupadas genericamente com outras frutíferas, sem distinção entre espécies (CQFS-RS/SC, 2016).

**Tabela 4.** Proposição de níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes no solo para pessegueiros

Nutrientes	Valores para solos da Serra Gaúcha		Recomendação oficial - CQFS-RS/SC (2016)	
	NC	FS	210-400 g kg <sup>-1</sup> de argila* CTC <sub>pH7</sub> = 7,6-15 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> *	200 g kg <sup>-1</sup> de argila* CTC <sub>pH7</sub> = 15,1-30 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> *
P (mg dm <sup>-3</sup> )	24	21 – 26	18,1 – 36,0	30,1 – 60,0
K (mg dm <sup>-3</sup> )	190	187 – 192	91 – 180	121 – 240
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,8	4,5 – 6,8	-	-
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,2	0,5 – 3,0	-	-
Saturação de Ca, Mg e K (%)	70	65 – 75		

\*Teor de argila e valor de CTC<sub>pH7</sub> do solo para interpretação dos teores de P e K (Mehlich-1), respectivamente, conforme recomendação oficial (CQFS-RS/SC, 2016). Fonte: Autores.

Em relação aos valores de NC e FS de nutrientes em folhas de pessegueiro, estudos realizados nos últimos cinco anos nas regiões Leste, Sudeste e Nordeste do estado do Rio Grande do Sul têm apresentado novos valores (Nava et al., 2025). Essa proposição considera as cultivares ‘Chimarrita’ e ‘Maciel’ (Tabela 5) e a cultivar ‘PS 10711’ (Tabela 3). Os resultados obtidos por Nava et al. (2025) revelam que é possível obter valores de NC e FS em folhas e solo mais precisos para cada local de cultivo e cultivar, quando comparado com as recomendações generalistas propostas pela CQFS-RS/SC (2016). Isso porque os valores de NC e FS apresentados são derivados de estimativas para cultivares e regiões específicas;

sendo assim, os valores são mais adequados (assertivos) para essas situações. Somado a isso, no presente capítulo estão sendo propostos valores de NC e FS em relação aos parâmetros de qualidade de frutos, firmeza de polpa e sólidos solúveis totais (SST), sendo esses valores desconhecidos até o momento para a cultura do pessegueiro, com destaque para a região Sul do Brasil.

Os NC e FS da concentração de N, P, K, Ca e Mg em folhas são semelhantes tanto para produtividade, como para parâmetros de qualidade dos frutos, em ambas as cultivares. No entanto, para alguns nutrientes como N e K em folhas, os valores de NC em relação à produtividade são diferentes entre a ‘Chimarrita’ e a ‘Maciel’ (Tabela 5). O maior NC de N é observado na ‘Chimarrita’ ( $34 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o menor na ‘Maciel’ ( $31 \text{ g kg}^{-1}$ ). Já para o K, o maior NC foi observado na ‘Maciel’ ( $28 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o menor na ‘Chimarrita’ ( $26 \text{ g kg}^{-1}$ ). Os resultados mostram que existem diferenças entre as cultivares quanto à exigência nutricional de N e K em folhas. Com relação à região de cultivo, os NC e FS de N em folhas em relação à produtividade foram diferentes entre as regiões Sudeste, Leste e Nordeste do RS. O maior valor de NC de N foi observado nas regiões Sudeste e Leste ( $35 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o menor no Nordeste ( $24 \text{ g kg}^{-1}$ ). Para o teor de K em folhas, o NC não apresentou diferença entre os locais ( $25 \text{ g kg}^{-1}$ ). O maior NC de N observado em folhas de pessegueiros cultivados nas regiões Sudeste e Leste, comparativamente ao Nordeste, se deve aos solos das regiões Sudeste e Leste serem mais arenosos e apresentarem menores teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, menor disponibilidade natural de N no solo. Assim, em pomares dessas duas regiões, as quantidades de N a serem aplicadas devem ser maiores.

Dando continuidade à proposição de valores específicos para diferentes cultivares, regiões e condições de cultivo, também foram determinados os níveis críticos e as faixas de suficiência de nutrientes em folhas da ‘PS 10711’ (Tabela 6), com base em dados oriundos de pomares comerciais. Quando esses valores são confrontados com as faixas estabelecidas pelo sistema oficial de recomendação da

CQFS-RS/SC (2016), construído com base em uma expectativa de produtividade de 20 t ha<sup>-1</sup>, observa-se que os novos parâmetros propostos se mostram mais ajustados às exigências nutricionais da cultivar em sistemas de alta produtividade.

No caso do N, o NC estimado foi de 31,0 g kg<sup>-1</sup>, com faixa de suficiência entre 28,0 e 33,0 g kg<sup>-1</sup>, valores ligeiramente inferiores aos intervalos recomendados pela CQFS-RS/SC (2016), sugerindo que podem ser obtidos elevados rendimentos mesmo com concentrações foliares de N mais moderadas. Para o P, o NC determinado foi de 2,80 g kg<sup>-1</sup>, com FS entre 2,5 e 3,0 g kg<sup>-1</sup>, mantendo-se dentro dos limites da recomendação oficial, porém, com intervalo mais restrito, indicando maior precisão diagnóstica. Por outro lado, o K apresentou NC de 23,5 g kg<sup>-1</sup> e FS de 21,5 a 25,0 g kg<sup>-1</sup>, superando os valores de suficiência da recomendação oficial (14,0 a 20,0 g kg<sup>-1</sup>), o que evidencia uma possível subestimação da exigência desse nutriente nos modelos atualmente utilizados. Os nutrientes Ca e Mg apresentaram valores significativamente mais elevados. O NC de Ca foi de 28,5 g kg<sup>-1</sup>, com faixa de suficiência entre 26,0 e 31,0 g kg<sup>-1</sup>, ao passo que para Mg, o NC foi de 4,5 g kg<sup>-1</sup>, com FS entre 4,0 e 5,0 g kg<sup>-1</sup>. A realização deste estudo também possibilitou estabelecer valores de referência para o S em folhas de pessegueiro (NC = 0,85 g kg<sup>-1</sup> e FS = 0,70 a 1,00 g kg<sup>-1</sup>), valores esses que são escassos na literatura e inexistentes no manual de recomendação de adubação oficial para os estados do RS e SC no Sul do Brasil.

Além dos macronutrientes, o estudo propôs valores de NC e FS para os micronutrientes B, Cu e Fe (Tabela 6) estimados respectivamente em 25,0 mg kg<sup>-1</sup>; 9,0 mg kg<sup>-1</sup>; e 72,0 mg kg<sup>-1</sup>. As faixas de suficiência recomendadas pelo CQFS-RS/SC (2016) são notadamente maiores para B e Cu, e no caso do Fe, substancialmente superior.

**Tabela 5** – Proposição de níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes em folhas e parâmetros de qualidade para o pessegueiro

Nutriente	Propostos		Recomendação oficial CQFS-RS/SC (20216)		Propostos		
	NC	FS	FS	NC	FS	NC	FS
	Produtividade (> 30 t ha <sup>-1</sup> )		Firmeza da polpa		Sólidos solúveis totais – SST		
N (g kg <sup>-1</sup> )	32,8	30,7 – 34,7	33 – 45	26,0	24,7 – 28,5	27,3	25,4 – 30,2
P (g kg <sup>-1</sup> )	2,4	1,9 – 2,9	1,5 – 3,0	3,1	2,3 – 4,0	1,5	0,8 – 1,7
K (g kg <sup>-1</sup> )	25	24 – 27	14 – 20	21	16 – 23	21,2	20 – 25
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	13	13 – 14	17 – 26	-	14 – 19	-	14 – 19
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	3,1	1,0 – 4,7	5,0 – 8,0	2,2	0,5 – 4,1	1,8	0,5 – 2,5
Cultivar ‘Chimarrita							
N (g kg <sup>-1</sup> )	34	31 – 35					
K (g kg <sup>-1</sup> )	26	24 – 28					
Cultivar ‘Maciel’							
N (g kg <sup>-1</sup> )	31	29 – 33					
K (g kg <sup>-1</sup> )	30	28 – 32					
Cultivado nas regiões Sudeste e Leste							
N (g kg <sup>-1</sup> )	35	33 – 37					
K (g kg <sup>-1</sup> )	26	24 – 28					
Cultivado na região Nordeste							
N (g kg <sup>-1</sup> )	24	23 – 25					
K (g kg <sup>-1</sup> )	25	24 – 26					

Fonte: Autores.

**Tabela 6.** Proposição de níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes em folhas para a cultura do pessegueiro ‘PS 10711’

Nutriente	Novos valores propostos		CQFS-RS/SC (2016)
	NC	FS	FS
	Produtividade > 30 t ha <sup>-1</sup>		Produtividade > 20 t ha <sup>-1</sup>
N (g kg <sup>-1</sup> )	31,0	28,0 – 33,0	33,0 – 45,0
P (g kg <sup>-1</sup> )	2,8	2,5 – 3,0	1,5 – 3,0
K (g kg <sup>-1</sup> )	23,5	21,5 – 25,0	14,0 – 20,0
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	28,5	26,0 – 31,0	17,0 – 26,0
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	4,5	4,0 – 5,0	5,0 – 8,0
S (g kg <sup>-1</sup> )	0,85	0,70 – 1,00	–
B (mg kg <sup>-1</sup> )	25,0	23,0 – 27,0	30,0 – 60,0
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	9,0	7,0 – 12,0	6,0 – 30,0
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	72,0	65,0 – 80,0	100,0 – 230,0

Fonte: Autores.

## **4.2 Doses, fontes e modos de aplicação**

As doses de nutrientes devem ser definidas com base nas análises de solo e foliar (CQFS-RS/SC, 2016), preferencialmente ajustadas por calibrações regionais. Particularmente para o N, a análise foliar indica doses mais adequadas às condições edafoclimáticas e ao manejo do pomar (Nava et al., 2022), visto que esse nutriente exerce maior influência sobre a produtividade.

Em estudo conduzido por Barreto et al. (2020) em pomar adensado de pessegueiro na região de Pelotas (RS), observou-se aumento linear da produção de frutos nas safras de 2017 e 2018 com o incremento das doses de N, sendo a maior produtividade registrada com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. De forma complementar, outro estudo realizado na mesma região, durante as safras de 2015 e 2016, demonstrou incremento médio de 10,1 t ha<sup>-1</sup> em relação ao tratamento controle, representando aumento de 54% na produtividade com a aplicação de N. Entretanto, na safra de 2016, doses superiores a 100 kg ha<sup>-1</sup> reduziram a produtividade (Nava et al., 2022), possivelmente devido ao crescimento vegetativo excessivo, que intensificou o sombreamento no interior da copa e comprometeu a formação de gemas floríferas, a frutificação efetiva e o desenvolvimento dos frutos (Toselli et al., 2019; Ames et al., 2020).

Além disso, Barreto et al. (2022), em estudo de calibração com doses de K<sub>2</sub>O conduzido em Morro Redondo (RS) ao longo de três safras (2016, 2017 e 2018), observaram maiores produtividades com aplicações entre 68 e 97 kg ha<sup>-1</sup>, aplicadas superficialmente. O nível crítico entre produção e teor foliar de K para atingir 90% da produtividade máxima foi de 28,4 g kg<sup>-1</sup>. De acordo com a CQFS-RS/SC (2016), teores foliares acima de 28,0 g kg<sup>-1</sup> já são considerados excessivos, reforçando a importância de estudos regionais de calibração. No caso do P, pesquisas avaliando seu efeito na produtividade são ainda mais limitados. Segundo Rombolà et al. (2012), quando os níveis de P no solo estão adequados, recomenda-se a adubação fosfatada a cada 3 ou 4 anos, aplicando-se de 40 a 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, quantidade suficiente para repor a exportação pelos frutos. Na região Sul do

Brasil, Navroski et al. (2019) testaram cinco doses de  $P_2O_5$  (0 a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e não observaram redução de produtividade na dose zero, demonstrando o efeito da suficiência de P no solo, em áreas com concentração de P (M-1) no solo de  $36,1 \text{ mg dm}^{-3}$ . Contudo, destaca-se que produtores frequentemente aplicam misturas NPK, mesmo em pomares com teores adequados de P, aumentando os custos e os riscos ambientais (Nava et al., 2025).

Quanto ao momento de aplicação, recomenda-se que a dose total de N seja parcelada em no mínimo três vezes, sendo: 50% no início da floração; 25% após o raleio e 25% após a colheita. Para P e K, a suplementação deve ocorrer preferencialmente em dose única, juntamente com a primeira aplicação de N, podendo ser parcelada em duas vezes para cultivares tardias ou pomares em solos arenosos (CQFS-RS/SC, 2016).

Os fertilizantes devem ser aplicados superficialmente na área de projeção da copa, na linha de plantio ou em área total, sem incorporação, a fim de evitar danos ao sistema radicular das plantas e/ou a propagação de doenças. A faixa de aplicação varia conforme a idade do pomar: em plantas jovens, cujas raízes se concentram próximas à linha de plantio, recomenda-se aplicar nessa região; já em plantas adultas, com sistema radicular distribuído também nas entrelinhas, a aplicação deve ser realizada na linha e em menor proporção nas entrelinhas (Brunetto et al., 2016; Nava et al., 2025).

Quanto às fontes de fertilizantes, utilizam-se tanto materiais industrializados (P: superfosfatos e formulações; K: cloreto de potássio e formulações; N: nitrato de amônio, ureia e nitrato de cálcio), quanto materiais orgânicos (dejetos de animais, composto orgânico, vermicomposto etc.). Entretanto, a simples aplicação dos nutrientes nem sempre garante expressão máxima de produção e qualidade dos frutos, motivando o desenvolvimento de formulações minerais de maior eficiência agrônômica, com liberação gradual e menores perdas.

Dentre os micronutrientes, B e Zn são os mais demandados pelos pessegueiros. O B é essencial ao desenvolvimento de flores e frutos, e sua deficiência pode causar frutificação deficiente, má formação de frutos e abortamento floral. O Zn é fundamental para atividade enzimática, síntese hormonal, vigor das plantas e desenvolvimento inicial dos frutos. Sua deficiência pode provocar má formação de gemas e redução de rendimento devido à atrofia do crescimento (Nava et al., 2025). Entretanto, a suplementação de micronutrientes deve ser criteriosa e baseada em análises de solo e folhas, uma vez que o excesso pode causar toxidez. A aplicação geralmente é realizada em períodos críticos, como pré-floração e início do desenvolvimento dos frutos.

## **5. Adubação foliar em pessegueiro**

Os solos nem sempre são capazes de suprir adequadamente os nutrientes requeridos pelas frutíferas, o que torna necessária a aplicação de fertilizantes via solo. Entretanto, determinadas condições edáficas podem limitar a eficiência dessa prática. Em solos com pH elevado, por exemplo, pode ocorrer redução na disponibilidade de alguns nutrientes. Adicionalmente, a baixa disponibilidade de água no solo pode restringir o fluxo de nutrientes em direção à superfície das raízes, dificultando sua absorção. Soma-se a isso o fato de que nutrientes aplicados ao solo podem ser perdidos por diferentes processos e que nem todos os nutrientes absorvidos pelas raízes são efetivamente translocados para os órgãos dreno, como folhas e frutos. Nesse contexto, a aplicação de nutrientes via foliar ou diretamente nos frutos pode constituir uma estratégia complementar, especialmente em situações nas quais a adubação via solo não apresenta eficiência adequada ou quando a cultura apresenta desequilíbrio nutricional. Tal condição deve ser diagnosticada por meio de análise foliar ou pela observação de sintomas visuais.

A aplicação e deposição de nutriente(s) no tecido foliar não implica necessariamente que ele esteja ativo em termos fisiológicos. A eficiência da absorção e transporte do(s) nutriente(s) aplicados via adubação foliar depende de

inúmeros fatores que atuam isoladamente ou em combinação, que estão relacionados com a morfologia e a fisiologia da planta, as características da solução aplicada e o ambiente externo.

Rozane et al. (2025) e Brunetto et al. (2025) discutem que as variáveis externas (temperatura ambiente; umidade relativa do ar; umidade do solo; cargas elétricas das moléculas/nutrientes aplicados; íon acompanhante; pH do solo; pH da calda de pulverização; concentração da solução; idade da planta; tempo de absorção; agentes adjuvantes; agentes quelantes; estado nutricional da planta etc.) e internas (estrutura morfológica, anatômica e constituintes - fosfolipídios, sulfolipídios e proteínas - das folhas; permeabilidade – vias e mecanismos de penetração de nutrientes; mobilidade de nutrientes em plantas etc.) interferem na eficiência da adubação foliar.

É preciso considerar, ainda, que a prática da adubação foliar, em especial nas frutíferas, como o pessegueiro, antecedendo a coleta da folha-diagnóstica, poderá superestimar os teores nutricionais, pois mesmo que os resíduos sejam totalmente ou parcialmente lavados da superfície foliar, há plantas que podem acumular nutrientes nos vacúolos, permanecendo uma concentração baixa no citoplasma (Storey, 2007; Hernandez et al., 2011). No entanto, a análise química determina o teor total do elemento na folha, computando a fração metabólica e não metabólica do nutriente, ou pouco solúveis, na forma de precipitados e, portanto, não ativa na planta.

Ressalta-se a necessidade de observância da legislação vigente no caso de misturas em tanque envolvendo múltiplos nutrientes e/ou defensivos, bem como da avaliação criteriosa da compatibilidade físico-química entre os componentes, uma vez que tais interações podem comprometer a qualidade da aplicação e a eficiência de absorção pelas plantas. Assim, se a prática da adubação foliar e/ou a utilização de defensivos que contenham em sua composição nutrientes a serem avaliados no balanço nutricional, for indicada anteriormente à avaliação do estado nutricional, ressalta-se que deverá haver cautela na avaliação e na interpretação dos resultados.

No que tange à cultura do pessegueiro, Brunetto et al. (2025) indicam que entre 1951-2025 foram publicados pouco mais de 20 artigos científicos no mundo sobre adubação foliar, estando a cultura do pêsego ainda em desvantagem quanto as informações científicas, quando comparada aos citros, a videira e a macieira, no mundo e na região Sul do Brasil.

Consultando o banco de publicações científicas, relacionamos abaixo alguns estudos realizados no Brasil sobre a aplicação via foliar em pessegueiros, com o intuito de observar quais nutrientes estavam sendo pesquisados, bem como os resultados encontrados. Desta forma, a tabela 7 apresenta o título do artigo científico, objetivo do estudo, principais resultados e referências.

**Tabela 7.** Título do artigo, objetivo, alguns resultados em destaque e referência de estudos realizados sobre aplicação foliar de nutrientes em pessegueiros

Artigos	Objetivo	Resultados	Referência
Aplicação foliar de Ca em pessegueiro na Serra Gaúcha: avaliação do teor de nutrientes na folha, no fruto e produção	Avaliar o efeito de pulverizações foliares de diferentes fontes de Ca no seu teor e de outros nutrientes nas folhas, nos frutos e na produção em Bento Gonçalves (RS)	Aumento do teor de Ca nas folhas, porém sem efeitos significativos nos demais nutrientes foliares, na composição nutricional dos frutos ou na produtividade.	Brunetto et al. (2008)
Aplicação de fertilizantes foliares potássicos na produção e qualidade de pêsego	Avaliar o efeito de dois produtos à base de K aplicados via foliar sobre a produção e a qualidade de frutos da variedade Marli, cultivada em Nova Pádua (RS).	As adubações foliares com K não influenciaram significativamente os parâmetros analisados, como sólidos solúveis, acidez, coloração, firmeza da polpa, produtividade, tamanho e massa de frutos. Entretanto, obteve-se um efeito negativo sobre o número de frutos por planta.	Bertolini et al. (2018)
Qualidade do pêsego, cv. Maciel, em função da adubação de base mais foliar	Avaliar o efeito da adubação de base mais foliar na qualidade e produtividade pré e pós-colheita de pêsegos cultivar Maciel em Pelotas (RS).	A adubação foliar não melhorou a qualidade dos frutos nem a produtividade. Apenas no armazenamento refrigerado houve diferença significativa, com menor incidência de podridão nos tratamentos com menores doses aos 30 dias, em comparação a outro tratamento. As demais variáveis não apresentaram diferenças estatísticas	Gazolla Neto et al. (2007)
Mobilidade de boro em mudas de pessegueiro	Verificar a mobilidade de B em mudas de pessegueiro em Ilha Solteira (SP).	A adubação com B, em mudas de pessegueiro, proporcionou incremento no número de folhas novas. O teor total de B na folha nova foi maior na adubação com boro via solo que via foliar. Há mobilidade de B aplicado via foliar para folhas novas em mudas de pessegueiro.	Souza et al. (2012)

Fonte: Brunetto et al. (2025). Pesquisa realizada nas bases de dados: Web of Science (utilizando os termos "foliar fertilization" AND "apple" AND "malus"/ "foliar fertilization" AND "peach" AND "prunus"/ "foliar fertilization" AND "citrus"/ "foliar fertilization" AND "vine" AND "grape") e Google Acadêmico com filtro de periodicidade de 2005-2025.

Desta forma, recomenda-se que as aplicações de fertilizantes via foliar ou via fruto devem sempre ser realizadas de forma a complementar a adubação realizada no solo e não de forma substitutiva. Vale ressaltar, ainda, que têm sido observadas respostas mais positivas a aplicação foliar quando as plantas estão condicionadas à solos com elevado valor de pH, baixa disponibilidade de nutrientes, em plantas com baixos teores de nutrientes em seus órgãos, em solos com baixa disponibilidade de água e em situações que por algum motivo há dificuldade de ocorrer transporte das raízes para os órgãos da parte aérea, ou mesmo que têm dificuldade de redistribuir os nutrientes entre os órgãos. Maior sucesso no uso de fertilizantes via foliares será alcançado, certamente, caso tenhamos maiores resultados de pesquisa nas condições locais de cultivo, bem como pela aplicação dos conhecimentos apresentados pelos técnicos, produtores e demais interessados na temática.

## **6. Uso de bioinsumos na fertilidade do pessegueiro**

O uso de bioinsumos na agricultura tem se consolidado como uma estratégia complementar ao manejo convencional da fertilidade do solo, especialmente em sistemas de produção que buscam maior eficiência no uso de nutrientes, redução de impactos ambientais e melhoria da qualidade biológica do solo. Em frutíferas perenes, como o pessegueiro, essa abordagem é particularmente relevante, uma vez que o cultivo ocorre por vários anos no mesmo local, o que pode resultar em redução gradual da atividade microbiana no solo e menor eficiência de absorção de nutrientes ao longo do tempo (Al-Hchami & Salloom, 2023).

De forma geral, os bioinsumos compreendem produtos de origem biológica ou microbiológica, incluindo biofertilizantes líquidos, inoculantes microbianos e condicionadores biológicos de solo, que atuam estimulando processos fisiológicos e biogeoquímicos no sistema solo-planta. Diferentemente dos fertilizantes minerais, esses insumos não têm como principal função o fornecimento direto de

grandes quantidades de nutrientes, mas sim a intensificação da ciclagem de elementos essenciais, a melhoria da disponibilidade no solo e o aumento da eficiência de absorção pelas plantas (Khairi & Joody, 2025).

Estudos internacionais conduzidos com pessegueiro demonstram efeitos consistentes do uso de bioinsumos sobre o estado nutricional das plantas. Em experimento de campo realizado na Polônia com a cultivar de pessegueiro ‘Meredith’, a aplicação de biochar, fertilizante orgânico e microrganismos benéficos, incluindo bactérias (*Pseudomonas fluorescens*) e fungos micorrízicos arbusculares (*Glomus* spp.), resultou em incrementos nos teores foliares de nutrientes. O uso isolado de biochar promoveu aumento de aproximadamente 6% no teor de nitrogênio nas folhas, enquanto a aplicação de fertilizante orgânico elevou o teor de fósforo em até 48%. Já a combinação de biochar e fertilizante orgânico resultou no maior incremento de potássio foliar, com aumento de até 38% em relação ao controle (Frac et al., 2023) (Tabela 8). Esses resultados evidenciam o potencial de estratégias integradas envolvendo condicionadores de solo, fontes orgânicas e microrganismos na melhoria da eficiência nutricional do pessegueiro.

**Tabela 8.** Teores médios de nitrogênio, fósforo e potássio em folhas de pessegueiro após três anos de uso de bioinsumos (biochar, microrganismos e fertilização orgânica), aplicados isoladamente ou em combinação. Os valores representam a média de 2015 a 2017 e indicam diferenças estatísticas entre tratamentos por letras distintas na coluna ( $p \leq 0,05$ )

Tratamentos	N (g 100 g <sup>-1</sup> MS)	P (g 100 g <sup>-1</sup> MS)	K (g 100 g <sup>-1</sup> MS)
Controle (sem fertilização)	<b>2,81 a</b>	<b>0,23 a</b>	<b>1,78 a</b>
Biochar	2,98 d	0,27 b	2,17 c
Biochar + microrganismos	2,78 a	0,27 b	2,23 c
Biochar + fertilizante orgânico	2,86 c	0,31 c	<b>2,47 d</b>
Fertilizante orgânico	2,89 c	<b>0,34 d</b>	2,20 c
Microrganismos	2,82 b	0,33 cd	2,01 b
Microrganismos + fertilizante orgânico	2,89 c	0,33 cd	2,20 c

Fonte: Adaptado de Frac et al. (2023).

Além dos efeitos sobre a nutrição, há evidências de respostas positivas no crescimento vegetativo. Em condições de viveiro, a aplicação de biofertilizantes e bioestimulantes em mudas de pessegueiro resultou em aumentos de 10 a 13% no diâmetro do caule e na altura das plantas, indicando estímulo ao crescimento inicial e ao vigor das mudas (Damianov et al., 2022). Embora esses resultados sejam provenientes da fase de produção de mudas, eles sugerem que os bioinsumos podem contribuir para melhor formação inicial do pomar.

Os efeitos observados estão associados, principalmente, à ação de microrganismos promotores do crescimento vegetal, como bactérias fixadoras de nitrogênio, solubilizadoras de fósforo e produtoras de fitormônios, além dos fungos micorrízicos arbusculares, que ampliam a área de exploração do solo pelo sistema radicular. Estudos conduzidos com pessegueiro e outras frutíferas relatam aumento do crescimento vegetativo, maior desenvolvimento radicular e melhoria na absorção de nutrientes quando as plantas são inoculadas com microrganismos benéficos, especialmente quando associados à adubação mineral (Kumari, 2023).

No Brasil, os avanços no uso de bioinsumos na fruticultura são mais evidentes em culturas como a macieira. Estudos realizados em pomares comerciais de maçã demonstram que a substituição parcial da adubação mineral por fertilizantes orgânicos e bioinsumos não compromete a produtividade nem a qualidade dos frutos, além de promover ajustes no balanço nutricional das plantas e contribuir para sistemas de produção mais sustentáveis (Mota et al., 2022). Esses resultados indicam que o uso de bioinsumos é tecnicamente viável em frutíferas de clima temperado sob condições brasileiras.

Entretanto, para a cultura do pessegueiro, ainda são escassos os estudos conduzidos em condições edafoclimáticas do Brasil que avaliem de forma sistemática os efeitos dos bioinsumos sobre a fertilidade do solo, a nutrição das plantas, a produtividade e a qualidade dos frutos. Em função dessa lacuna, a utilização de resultados de pesquisas internacionais neste capítulo se justifica como forma de subsidiar tecnicamente o potencial de uso desses insumos, ao mesmo

tempo em que evidencia a necessidade de ampliação de estudos nacionais voltados à cultura do pessegueiro.

Assim, o uso de bioinsumos na fertilidade do pessegueiro deve ser entendido como uma ferramenta complementar dentro de um sistema integrado de manejo da fertilidade do solo, fundamentado em análises de solo e folhas, adubação mineral criteriosa e práticas que favoreçam a atividade biológica do solo. A consolidação de pesquisas conduzidas em condições brasileiras será essencial para ajustar as recomendações e ampliar o uso seguro e eficiente desses insumos na cadeia produtiva do pêssego.

## **7. Considerações finais**

O presente capítulo abordou estratégias de manejo da fertilidade do solo e da adubação em pomares de pessegueiro no Rio Grande do Sul, salientando a importância de se considerar as características edafoclimáticas das regiões de cultivo e as exigências nutricionais do pessegueiro ao longo do seu ciclo produtivo. Para tanto, destacou-se a importância da análise de solo e de tecido vegetal como ferramentas a serem empregadas de forma conjuntas no diagnóstico para orientar recomendações mais precisas e eficientes. Além disso, a adoção de estratégias de manejo que promovam o uso racional de insumos, a manutenção da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas produtivos, as quais contribuem para a estabilidade da produtividade e para a longevidade dos pomares, são fundamentais para o fortalecimento da cadeia produtiva do pessegueiro na região.

## **8. Referências Bibliográficas**

AL-HCHAMI, S. H. J.; SALLOOM, Y. F. Biofertilizers, types, Benefits and their role in improving the growth of fruit trees and vegetative plants. *Journal of Kirkuk University for Agricultural Sciences*, v. 14, n. 3, 2023.

AMES, Z. R.; BRECHT, J. K.; OLMSTEAD, M. A. Nitrogen fertilization rates in a subtropical peach orchard: effects on tree vigor and fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 100, n. 2, p. 527-539, 2020.

ANDA – Associação Nacional de Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2024. São Paulo, 2025. 179 p.

BARRETO, C. F.; ANTUNES, L. E. C.; FERREIRA, L. V.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; NAVA, G. Nitrogen fertilization and genotypes of peaches in high-density. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 42, n. 6, e-629, 2020.

BARRETO, C. F.; ANTUNES, L. E. C.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; FERREIRA, L. V.; NAVA, G. Potassium fertilization and its impact on production and mineral composition of peach trees. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 44, e-208, 2022.

BERTOLINI, I.; FOGAÇA, M. A. de F.; DAL MAGRO, L. Aplicação de fertilizantes foliares potássicos na produção e qualidade de pêssego. *Revista Agrária Acadêmica*, v. 1, n. 1. 2018.

BRAVO, J. A.; RINCÓN, R.; MUÑOZ, J.; SÁNCHEZ, A.; CALZADA, M. D. Spectroscopic characterization of argon–nitrogen surface-wave discharges in dielectric tubes at atmospheric pressure. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, v. 35, n. 6, p. 993-1014, 2015.

BRUNETTO, G.; SIMAO, D. G.; ROZANE, D. E.; GIROTTO, E.; WERTONGE, G. S.; SILVA, K. R.; TABALDI, L. A.; AGUILAR, M. V. M.; BRICK, T. P.; NATALE, W.; MARCHEZAN, C. Princípios para alcançar o sucesso no uso de nutrientes aplicados via foliar em frutíferas. In: BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; MOTERLE, D. F.; TIECHER, T. L.; HAHN, L.; MELO, G. W. B. (Org.). *Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas*. 1ed. Santa Maria - RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2025, v. 1, p. 49-78.

BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; DE MELO, G. W. B.; GIROTTO, E.; FERREIRA, P. A. A.; LOURENZI, C. R.; COUTO, R. R.; TASSINARI, A.; HAMMERSCHMITT, R. K.; da SILVA, L. O. S.; LAZZARETTI, B. P.; KULMANN, M. S. S.; CARRANCA, C. Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition. *Scientia Horticulturae*, v. 207, p. 1-6, 2016.

BRUNETTO, G.; LORENSINI, F.; CERETTA, C. A.; GATIBONI, L. C.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; MIOTTO, A.; LOURENZI, C. R.; de MELO, G. W. Soil Phosphorus Fractions in a Sandy Typic Hapludalf as Affected by Phosphorus Fertilization and Grapevine Cultivation Period. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, London, v. 44, p.1 937-1950, 2013.

BRUNETTO, G.; NAVA, G.; AMBROSINI, V. G.; COMIN, J. J.; KAMINSKI, J. The pear tree response to phosphorus and potassium fertilization. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 37, n. 2, p. 507-516, 2015.

BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B.; KAMINSKI, J. Aplicação foliar de cálcio em pessegueiro na serra gaúcha: avaliação do teor de nutrientes na folha, no fruto e produção. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n.2, p.528-533, 2008.

BRUNETTO, G.; NATALE, W.; MOURA-BUENO, J. M. Reflexões sobre a calagem e a adubação de implantação (ou pré-plantio) em pomares de frutíferas. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Informe Técnico n. 98. 2023. 4p.

CIOTTA, M. N.; CERETTA, C. A.; OLIVEIRA, L. S.; KULMANN, M. S. S.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Plant growth and nutritional status of leaves from young grapevines grown in soil subjected to potassium and limestone applications. *Idesia, Arica*, v. 38, n. 2, p. 77-85, jun. 2020.

CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS e SC. Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

- DAMIANOV, S.; STOYANOV, D.; STOYANOVA, A.; PETKOVA, V. Influence of biofertilizers and phytosanitary treatments on growth of peach planting material. [Journal/Proceedings], 2022. (Trabalho técnico com mudas de pessegueiro; arquivo: 1647320982Galley\_Proof.pdf).
- DOLINSKI, M. A.; DANGELO, J. W. D. O.; CUQUEL, F. L.; MOTTA, A. C. V.; MIO, L. L. M. D. Quality peach produced in fertilizer doses of nitrogen and green pruning. *Bragantia*, v. 77, p. 134-140, 2018. . K. Nitrogen management in crop production. C
- FAGERIA, NRC press, 2014.
- FERREIRA, L. V.; PICOLOTTO, L.; PEREIRA, I. D. S.; SCHMITZ, J. D.; ANTUNES, L. E. C. Nitrogen fertilization in consecutive cycles and its impact on high-density peach crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 2, p. 172-181, 2018.
- FRANÇA, M.; SAS-PASZT, L.; SITAREK, M. Macro and microelements in leaves of 'Meredith' peach cultivar supplied with biochar, organic and beneficial biofertilizer combinations. *Agriculture*, v. 13, n. 5, p. 933, 2023.
- GAZZOLA NETO, A.; PAZZIN, D.; FACHINELLO, J. C. Qualidade do pêssego, cv. Maciel, em função de adubação de base mais foliar. *Scientia Agraria*, v. 8, n.3, p. 233-237, 2007.
- GOMEZ, J. R.; BACA, J.; GARZON, F. Techno-economic analysis and life cycle assessment for electrochemical ammonia production using proton conducting membrane. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 1, p. 721-737, 2020.
- HERNANDES, A.; CAZETTA, J. O.; NATALE, W.; ROZANE, D. E.; SOUZA, H. A. de; ROMUALDO, L. M. Fracionamento de manganês acumulado nos tecidos de mudas de caramboleira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1679-1686, 2011.
- KHAIRI, Y. R.; JOODY, A. T. Bio-fertilization improving growth and productivity of fruit trees: review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 1487, p. 012044, 2025.
- KUMARI, S. Effect of inorganic fertilizers and plant growth promoting bacteria on growth, yield and quality of peach cv. Shan-i-Punjab. 2023. Dissertação (Mestrado em Horticultura – Fruit Science) – Dr. Yashwant Singh Parmar University of Horticulture and Forestry, Nauni, Solan, Índia.
- MARSCHNER, H. (Ed.) Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press, 2011.
- MOTA, M.; MARTINS, M. J.; POLICARPO, G.; SPREY, L.; PASTANEIRA, M.; ALMEIDA, P.; OLIVEIRA, C. M. Nutrient content with different fertilizer management and influence on yield and fruit quality in apple cv. Gala. *Horticulturae*, v. 8, n. 8, p. 713, 2022.
- NAVA, G.; REISSER JÚNIOR, C.; PARENT, L. É.; BRUNETTO, G.; MOURA-BUENO, J. M.; NAVROSKI, R.; BENATTI, J. A.; BARRETO, C. F. Esmeralda peach (*Prunus persica*) fruit yield and quality response to nitrogen fertilization. *Plants*, v. 11, n. 3, p. 352, 2022.
- NAVA, G.; DE PAULA, B. V.; HAHN, L.; BENATI, J. A.; BRUNETTO, G.; NAVROSKI, R.; HINDERSMANN, J.; PAESE, B. T.; MOURA-BUENO, J. M. Calagem, adubação e estado nutricional em pessegueiro. In: BRUNETTO, G. et al. (org.). Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2025.
- NAVROSKI, R.; BARRETO, C. F.; FERREIRA, L. V.; BENATI, J. A.; NAVA, G.; MALGARIM, M. B. Response of 'Sensação' peach trees to phosphate fertilization. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 6, sup. 3, 2019.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p.

ROMBOLÀ, A. D.; SORRENTI, G.; MARODIN, G. A. B.; PIERI, A. Z. D.; BARCA, E. Nutrição e manejo do solo em fruteiras de caroço em regiões de clima temperado. Semina: ciências agrárias. Londrina, PR. v. 33, n. 2 (abr. 2012), p. 639-654, 2012.

ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G.; SILVA, K. R.; SIMAO, D. G.; TABALDI, L. A.; NATALE, W. Adubação foliar de frutíferas: ênfase em videiras. In: BRUNETTO, G.; NATALE, W.; ROZANE, D. E.; LOSS, A. (Org.). Estratégias de manejo da fertilidade do solo e da nutrição de videiras. 1ed. Santa Maria - RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2025, v. 1, p. 349-369.

SOUZA, J. A. de; CANESIN, R. C. F. S.; BUZETTI, S. Mobilidade de boro em mudas de pessegueiro. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 34, n. 3, p. 930-935, 2012.

STOREY, J. B. Zinc. In: BARKER, A. V.; PIPEAM, D. J. (eds). Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2007. p.411-436.

TOSELLI, M.; BALDI, E.; CAVANI, L.; MAZZON, M.; QUARTIERI, M.; SORRENTI, G.; MARZADORI, C. Soil-plant nitrogen pools in nectarine orchard in response to long-term compost application. Science of the Total Environment, v. 671, p. 10-18, 2019.

TOSELLI, M.; SCANDELLARI, F.; TAGLIAVINI, M.; BALDI, E.; DE CONTI, L.; TRAPP, T.; ROZANE, D. E.; HANH, L.; NATALE, W.; BRUNETTO, G. Aspectos atuais e perspectivas sobre a adubação e a nutrição em frutíferas. In: Hahn L.; Brunetto G. (Ed.). Atualização Técnica sobre Calagem e Adubação em Frutíferas. NRS-SBCS. p. 19-44, 2022.

*Capítulo 9*

# **Adubação em pomares de pessegueiro em Santa Catarina**

Leandro Hahn<sup>(1)</sup>  
Gilberto Nava<sup>(2)</sup>

## **Resumo**

Solos para cultivo de pêsego em Santa Catarina naturalmente não apresentam as condições de fertilidade do solo que não atendem as exigências das plantas para crescimento e produção de frutos de qualidade. Por isso, a adoção de práticas como a calagem para correção da acidez e aplicação de nutrientes para aumentar a disponibilidade de nutrientes na implantação de pomares e reposição de nutrientes exportados pelas colheitas é necessária na exploração do pêsego. Além disso, são necessários valores de referência sobre os teores de nutrientes em folhas para diagnóstico do estado nutricional das plantas. Este capítulo apresentará resultados de pesquisa com pessegueiro obtidos em SC. São apresentados resultados sobre diagnóstico da fertilidade do solo em pomares comerciais, resultados de pesquisa com aplicações de nitrogênio e os efeitos no crescimento, produção e qualidade de frutos e, por fim, são apresentados valores de referência para interpretação de teores minerais em folhas. A aplicação dos conhecimentos gerados pela pesquisa em SC, aliados a resultados obtidos em outros estados, principalmente no Rio Grande do Sul, poderá contribuir na manutenção ou aumento da produtividade do pêsego. Porém, as recomendações não são definitivas e poderão ser ajustadas no

futuro próximo, a partir de novos conhecimentos gerados pela pesquisa, aliadas às observações de campo realizadas por técnicos e fruticultores.

**Palavras-chave:** *Prunus persica*, análise de solo, análise de folhas, diagnóstico nutricional, fertilizantes.

## **1. Introdução**

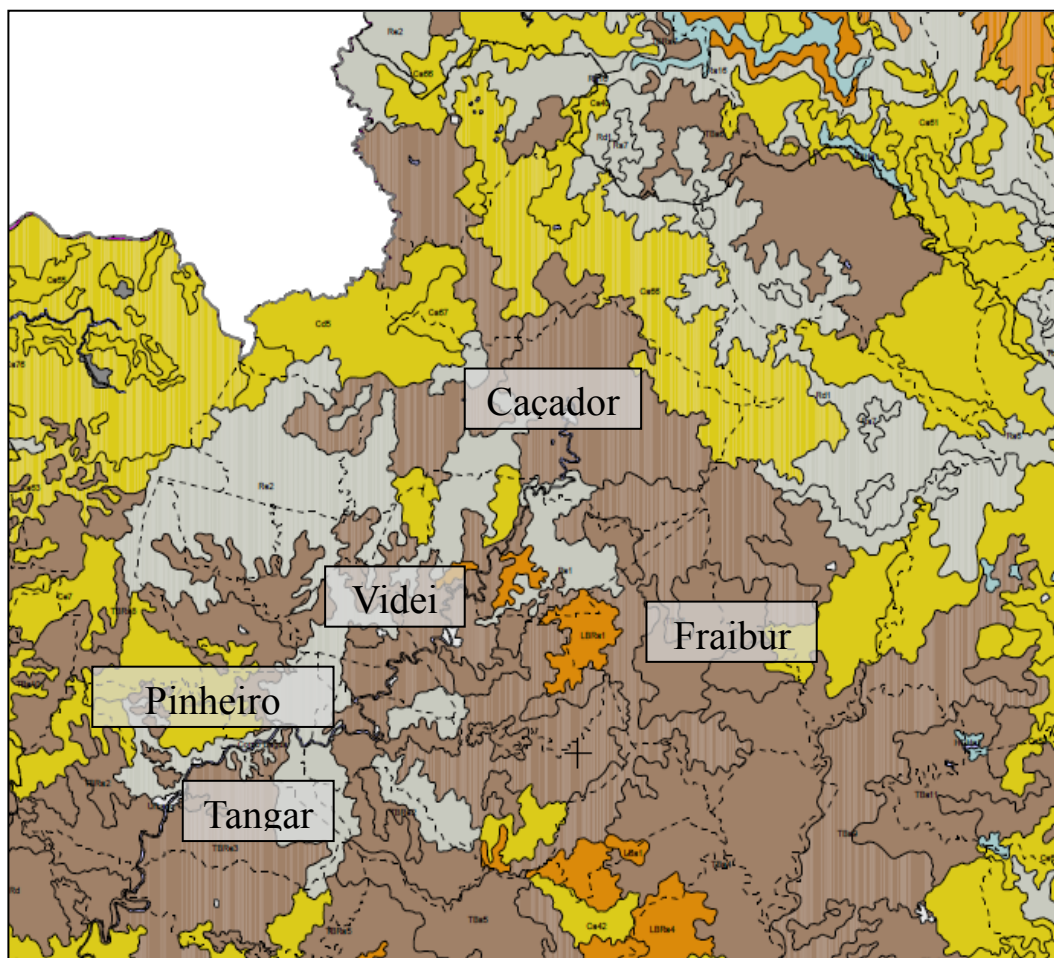
O estado de Santa Catarina (SC) é o segundo maior produtor de pêssgo do Brasil, atrás do Rio Grande do Sul. Em SC, foram cultivados na safra 2024, aproximadamente 1,2 mil ha em 567 estabelecimentos, produzindo 14,7 mil toneladas, com uma produtividade média de 12,6 t/ha (IBGE, 2025). A região do Alto Vale do Rio do Peixe, localizada no Meio-oeste, representa mais de 80% da produção de pêssgo em Santa Catarina (aproximadamente 852 ha), seguida do Sul Catarinense, com mais de 6% do total. A produção estadual de pêssgo inicia em outubro e se estende até fevereiro do ano seguinte, mais de 75% dela está concentrada em novembro e dezembro. Os municípios de Fraiburgo, Tangará, Videira e Pinheiro Preto concentram aproximadamente 61% de toda a produção do estado. Já no Sul de SC destacam-se os municípios de Urussanga e Nova Veneza.

O presente capítulo tratará da amostragem de solo e folhas, interpretação de nutrientes e recomendações de calagem e adubações em pomares de pessegueiro do estado de Santa Catarina.

## **2. Solos para cultivo de pêssgo em Santa Catarina**

Os solos para o cultivo pêssgo na região do Alto Vale do Rio do Peixe apresentam grande variabilidade de características químicas e físicas. Estes solos pertencem às classes dos Latossolos, Nitossolos, Cambissolos e Neossolos (Figura 1), as quais, em termos gerais, são caracterizadas por apresentarem baixos valores de pH em água, baixa disponibilidade de P, Ca e Mg e altos teores de Al e Mn trocáveis. Por outro lado, apresentam boa disponibilidade de K e teores médios a altos de matéria orgânica no solo. De modo geral, antes da implantação do

pomar, esses solos, quando diagnosticada a necessidade pela análise de solo, necessitam da aplicação de corretivos de acidez do solo e adubações.



### Legenda

	Neossolo Litólico Distrófico		Nitossolo Bruno
	Cambissolo Húmico		Latossolo Bruno Distrófico

**Figura 1.** Principais tipos de solo de ocorrência na região do Alto Vale do Rio do Peixe, no Meio-Oeste de Santa Catarina, com destaque para Videira, Fraiburgo, Pinheiro Preto e Tangará, a região de maior produção de pêsego no estado de SC.

Fonte: Embrapa Solos, 2004.

Nos solos Nitossolos é onde encontramos a maior parte dos pomares de pêsegos em SC. Estes solos são constituídos de material mineral, com  $350 \text{ g kg}^{-1}$

ou mais de argila, inclusive no horizonte A, que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A dentro de 200 cm da superfície do solo (Santos et al., 2025). O horizonte B nítico apresenta argila de atividade baixa ou atividade alta conjugada com caráter alumínico, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B. Os nitossolos são profundos, bem estruturados e drenados e localizados em topografia com declividade média favorecendo inúmeras práticas tratorizadas. Assim considera-se estes solos com aptidão adequada para o cultivo do pessegueiro.

Em proporção menor aos Nitossolos ocorrem os Cambissolos, os quais podem variar em profundidade e textura, mas que com o manejo adequado e preparo do solo fornecem boa base de crescimento para as plantas. Já os Neossolos, embora também utilizados para cultivo do pessegueiro, possuem restrição de profundidade e maior risco de estresse hídrico no verão, requerendo maior atenção quanto ao uso de irrigação.

### **3. Diagnóstico da fertilidade do solo em pomares de SC**

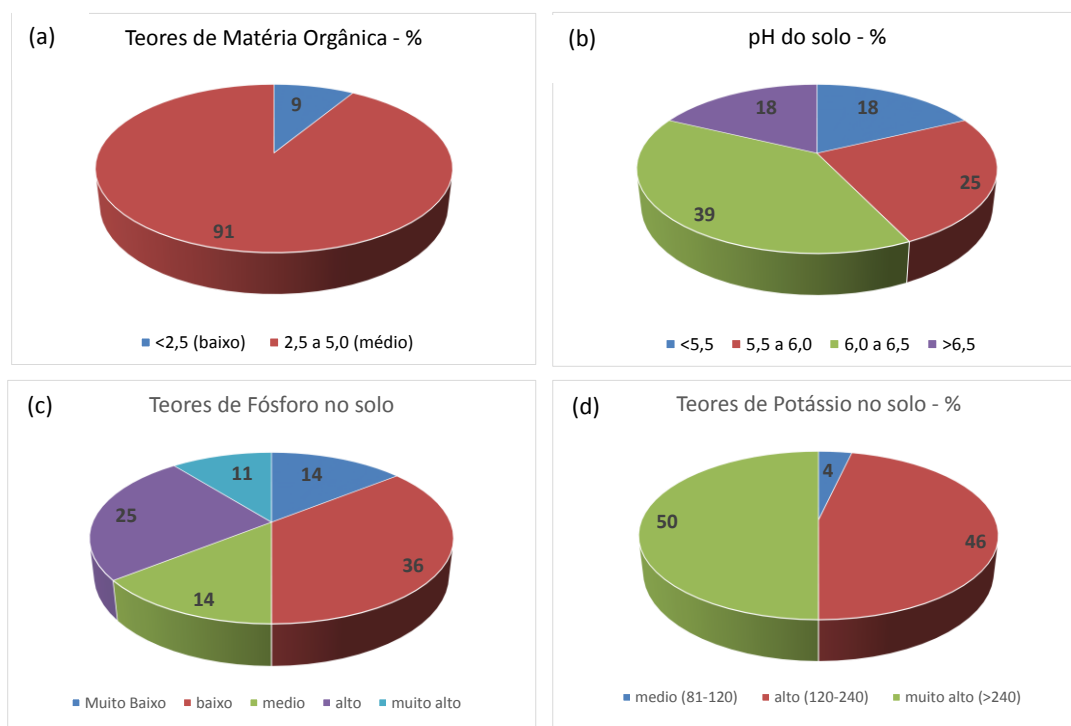
O diagnóstico da fertilidade do solo é uma etapa importante no planejamento da adubação do pessegueiro. A partir de amostras de solo adequadamente coletadas e analisadas em laboratórios confiáveis, o técnico e o fruticultor conhecem se a disponibilidade de nutrientes para as plantas está adequada. A partir destas informações, doses mais adequadas de nutrientes podem ser definidas, otimizando o crescimento e a produção de frutos de qualidade.

Em projeto integrado de pesquisa e extensão desenvolvido pela Epagri no ano de 2024, realizou-se um diagnóstico da fertilidade do solo de pomares de pessegueiro do Alto Vale do Rio do Peixe (Nava et al., 2025a). Neste levantamento, 30 pomares foram selecionados nos principais municípios produtores de pêssigo desta região, os quais foram amostrados para fins de análise química de solo. Os teores de matéria orgânica (MO) mostram predominância marcante da classe entre 2,5 e 5,0% (91%) (Figura 2a), refletindo solos com boa

capacidade de retenção de água, nutrientes e atividade biológica, características favoráveis à sustentabilidade dos pomares. Contudo, a presença de 9% dos pomares com teores inferiores a 2,5% de MO evidencia áreas mais suscetíveis à degradação física e à menor eficiência nutricional, reforçando a importância de práticas conservacionistas, como adubação orgânica, cobertura vegetal e manejo adequado dos resíduos culturais.

A distribuição dos pomares de pessegueiro indica que a maior parte dos solos apresenta pH entre 6,0 e 6,5 (39%), faixa considerada ideal para a cultura, pois maximiza a disponibilidade de nutrientes e reduz riscos de toxidez por  $Al^{3+}$  (Figura 2b). Entretanto, observa-se que 43% dos pomares ainda se encontram em condições ácidas (18% com pH <5,5 e 25% entre 5,5 e 6,0), o que pode limitar o crescimento radicular e a eficiência da adubação. Por outro lado, 18% dos solos com pH >6,5 merecem atenção quanto ao manejo da calagem, pois valores elevados podem reduzir a disponibilidade de micronutrientes catiônicos (Fe, Mn, Zn, Cu e Ni).

Os teores de fósforo no solo apresentam elevada variabilidade, com predomínio das classes baixa (36%) e alta (25%), seguidos por médio (14%), muito baixo (14%) e muito alto (11%) (Figura 2c). Esse cenário indica que uma parcela significativa dos pomares (64%) são cultivados em solos com teores abaixo do crítico ( $12,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), ou seja, ainda precisam ser corrigidos e as plantas podem responder positivamente à adubação fosfatada. Isso é sobretudo relevante naqueles solos enquadrados nas classes baixa e muito baixa (50% dos solos), comuns em solos ácidos e altamente intemperizados de SC. Em contrapartida, a presença de áreas com teores muito altos de P (11% dos solos) sugere histórico de adubações excessivas, demandando ajustes no manejo para evitar desequilíbrios nutricionais e perdas ambientais.



**Figura 2.** Distribuição de classes de frequência de teores de matéria orgânica (a) pH (b), fósforo (c) e potássio (d) do solo de pomares de pessegueiro do Alto Vale do Rio do Peixe, Meio-Oeste de SC (dados de 30 pomares dos municípios de Videira, Fraiburgo, Caçador, Rio das Antas, Arroio Trinta, Tangará e Pinheiro Preto).

Fonte: Nava et al., 2025a.

Para o potássio, observa-se concentração expressiva dos pomares nas classes alto (46%) e muito alto (50%), indicando que a maioria dos solos apresenta teores acima do crítico ( $>120 \text{ mg dm}^{-3}$ ), ou seja com uma boa ou elevada disponibilidade desse nutriente (Figura 2d). Apenas 4% encontram-se na classe média, o que evidencia baixo risco de deficiência de K nos pomares catarinenses. Importante considerar que solos com teores muito altos de K podem determinar prejuízos no crescimento e produção das plantas de pessego. Isso ocorre principalmente pelo antagonismo entre cátions na solução do solo, pois teores elevados de K podem desfavorecer a absorção de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), especialmente em solos de menor capacidade de troca de cátions (CTC). Isso reforça a necessidade de adubação potássica baseada nos resultados da análise de

solo com o objetivo de manter o equilíbrio entre cátions e assim, garantir produtividade e longevidade dos pomares.

#### **4. Adubação do pessegueiro**

Recomendações para a calagem e adubação do pessegueiro em Santa Catarina são baseadas em informações publicadas em livros e manuais de calagem e adubação dos estados do RS e SC. Nos últimos anos, o setor produtivo do pessegueiro em conjunto com instituições de ensino pesquisa dos dois estados, sejam elas públicas ou privadas, vem buscando estratégias para aumentar a produtividade, mas também a qualidade nutricional e visual dos frutos, com objetivo de aumentar o tempo de armazenamento e ser mais atrativo para o mercado consumidor (Medici et al., 2020) e, conseqüentemente, aumentando a lucratividade do setor. No estado de Santa Catarina, as principais pesquisas relacionadas à adubação e nutrição do pessegueiro têm sido conduzidas pela Epagri, embora outras instituições públicas e privadas também desenvolvam, de forma complementar, estudos nessa área.

Informações gerais sobre a interpretação de teores de nutrientes no solo e recomendações de adubação para a implantação de pomares e adubação de pomares em produção podem ser obtidas no sistema oficial de recomendação de calagem e adubação para frutíferas nos estados do RS e de Santa Catarina (SC) (CQFS-RS/SC, 2016) e, em Nava et al., (2025b). Estas bibliografias fornecem os valores de referência e as doses de nutrientes com base em análises de solo, diagnóstico foliar e expectativa de produtividade. No entanto, essas recomendações são frequentemente baseadas em valores de referência generalistas ou extrapoladas de literatura internacional, sem a devida validação regional ou especificidade varietal, sendo isso uma das explicações para a baixa produtividade observada em muitos pomares catarinenses. Assim, há a necessidade de gerar informações mais específicas para as diferentes regiões produtoras de pêssego de

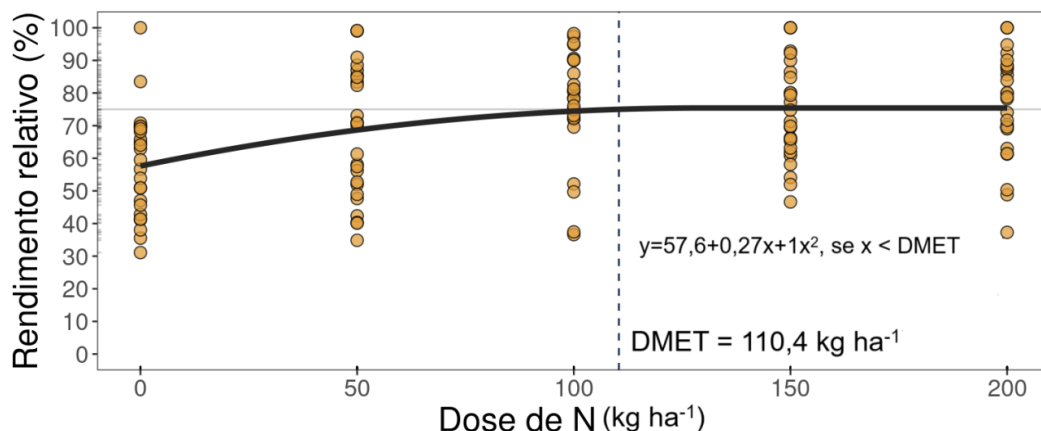
SC, levando em conta características específicas como cultivares, clima, tipo de solo, sistema de condução e manejo adotado pelos produtores.

Em SC, as principais pesquisas com pêsego têm focado o manejo do nitrogênio, buscando-se avaliar o efeito no crescimento das plantas, produção e qualidade dos frutos. Além disso, um levantamento do diagnóstico da fertilidade do solo e a proposição de valores de referência a partir da metodologia *Compositional Nutrient Diagnosis* (CND) para interpretação de análises foliares têm sido determinado.

### **5. Crescimento, produção e qualidade de frutos de pessegueiro em resposta à adubação nitrogenada**

Dos nutrientes essenciais às plantas de pessego, o nitrogênio (N) é que tem recebido maior atenção, afinal, tende a ser o nutriente que mais influencia o crescimento, a produtividade e a qualidade dos frutos de pessegueiros, tanto por aplicações abaixo das requeridas pelas plantas (Barreto et al, 2020; Ferreira et al., 2018, Gomez et al., 2020), quanto doses excessivas (Dolinski et al., 2017; Ferreira et al., 2018).

Em experimento com doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N) implantado em Fraiburgo (SC) no ano de 2020 e conduzido durante cinco safras, Nava et al., (2025b) observaram que a dose que proporcionou a máxima eficiência técnica (DMET) para a produtividade de frutos foi de 110,4 kg N ha<sup>-1</sup>, (Figura 3). Valores próximos foram obtidos para a região de Pelotas (RS) por Nava et al. (2022), que verificaram o máximo de rendimento de frutos na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.



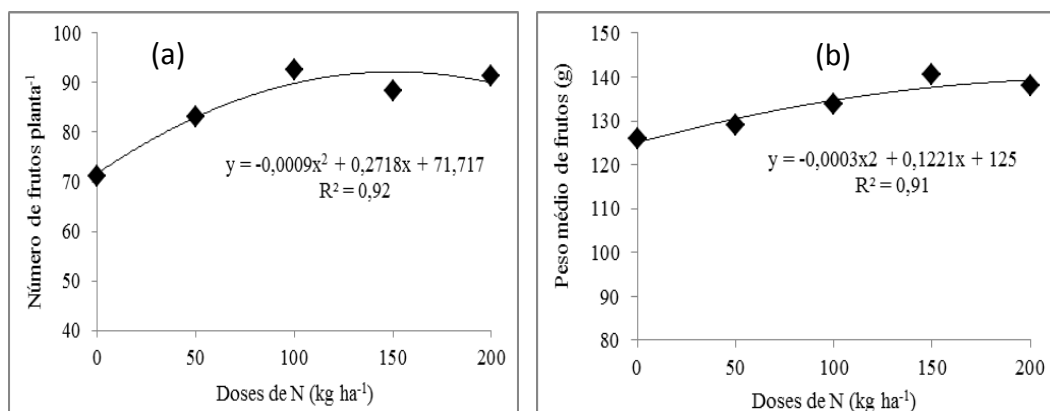
**Figura 3.** Doses de máxima eficiência técnica (DMET) em relação ao rendimento relativo da produção de frutos em plantas de pessegueiro submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo-SC em cinco safras (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024). Fonte: Nava et al. (2025b).

Em Fraiburgo, as doses de N que maximizaram o número e o peso médio de frutos estão acima das doses que maximizaram o rendimento de frutos. O número médio de frutos por planta (92,2) e o peso médio de frutos (137 g) foram maximizados com a aplicação de 151 e 167 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. As doses de N obtidas no experimento de Fraiburgo podem ser utilizadas como referência para tomada de decisão para fertilização nitrogenada de pomares para aquela região. Estas doses estão acima das doses atualmente recomendadas por CQFS-RS/SC (2016), as quais variam de 50 a 70 kg ha<sup>-1</sup> para a produção de 20 t ha<sup>-1</sup> de frutos e teores de N foliar entre 25,8 a 39,0 g kg<sup>-1</sup>.

Nava et al. (2025b) alcançaram rendimento médio de frutos nas cinco safras na DMET em torno de 20 t ha<sup>-1</sup> e os teores de N foliar variaram entre 26 e 39 g kg<sup>-1</sup>. Assim, recomenda-se a revisão das doses de N atualmente sugeridas pela CQFS-RS/SC (2016) para o pessegueiro em SC.

Com relação ao parcelamento das doses de N, recomenda-se aplicar 50% da dose no início do florescimento e 50% da dose logo após o raleio dos frutos, quando se tem a definição do potencial de produção do pomar. Nesta segunda aplicação, as doses podem ser ajustadas de acordo com a carga de frutos, pois em

plantas com maior número de frutos podem-se aumentar as doses. Entretanto, é importante destacar que o excesso de frutos por planta, em decorrência de um raleio deficiente, resulta em frutos de pequeno calibre. Nesta situação não é possível se aumentar o tamanho de frutos por meio de doses maiores de N (Nava et al., 2022).

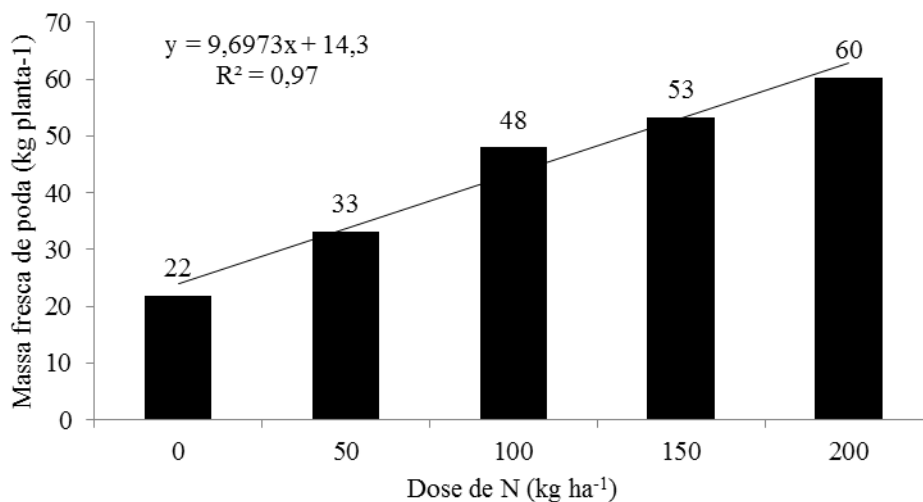


**Figura 4.** Número de frutos planta<sup>-1</sup> (a) e peso médio de frutos (b) de plantas de pessegueiro submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo-SC em cinco safras (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024). Fonte: Nava et al. (2025b).

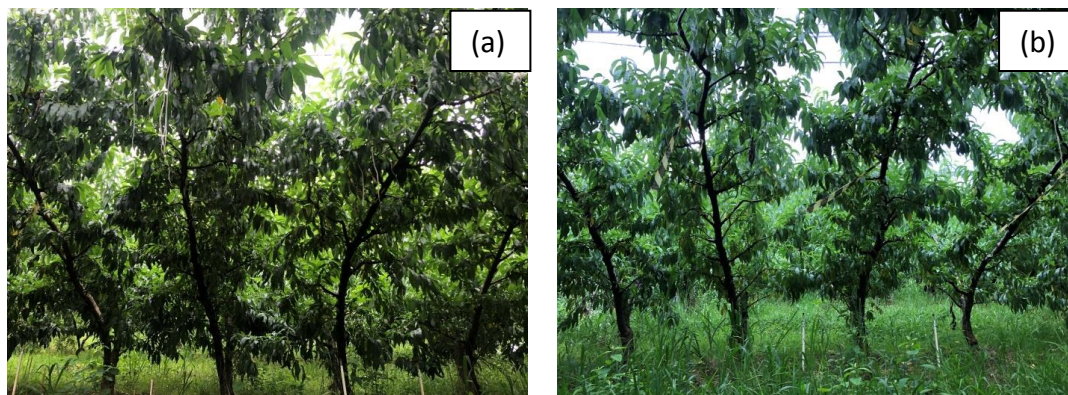
A cultura do pessego é altamente demandante em mão-de-obra para a poda das plantas. Geralmente, três podas são realizadas em um ciclo de produção: no inverno, quando as plantas estão dormentes, próximo à colheita e em pós-colheita. No experimento em Fraiburgo, três podas foram realizadas anualmente e o material podado foi pesado. A massa de poda aumentou linearmente com o aumento das doses de N (Figura 5). Na maior dose de N, (200 kg ha<sup>-1</sup>), 60 kg ha<sup>-1</sup> de massa de poda por planta foram observados após cinco safras, o que determina um alto investimento pelo produtor em mão-de-obra, sem retorno na produção de frutos. Visualmente este maior crescimento das plantas em altas doses de N pode ser observado na Figura 6.

O crescimento das plantas de pessegueiro submetidas ao N também pode ser observado no diâmetro do tronco, o qual aumentou em resposta à adubação

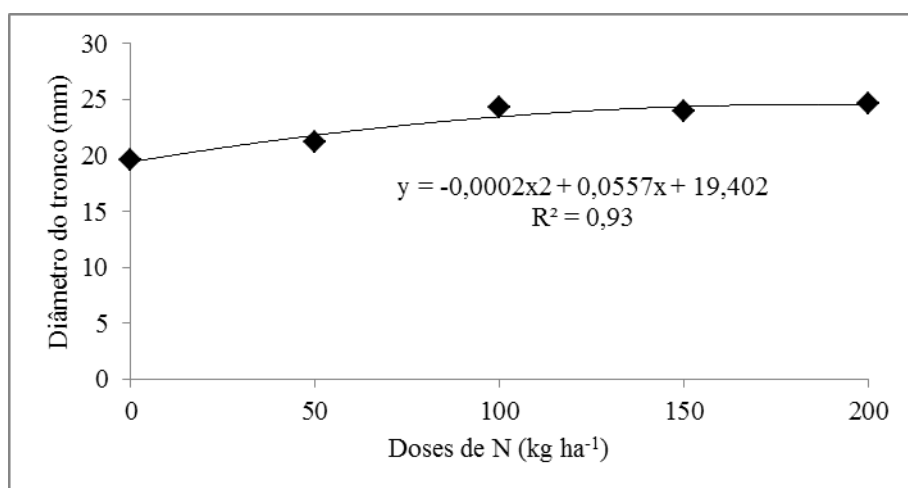
nitrogenada e na dose de 139 kg ha<sup>-1</sup> de N observou-se o máximo de crescimento (23,3 mm) em cinco anos de experimento (Figura 7).



**Figura 5.** Massa acumulada de poda de plantas de pessegueiro submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo (SC), em cinco safras (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024) Fonte: Nava et al. (2025b).



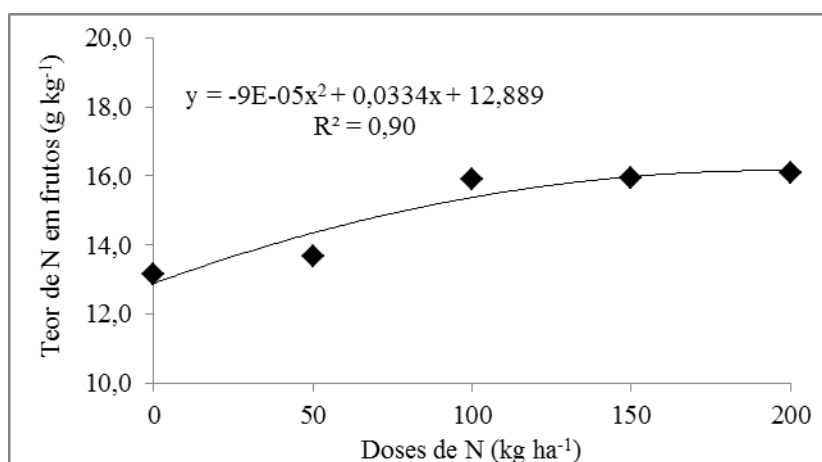
**Figura 6.** Imagens de plantas de pessegueiro submetidas à 200 kg ha<sup>-1</sup> (a) e 0 kg ha<sup>-1</sup> (b) de nitrogênio em Fraiburgo (SC). Fotos: Leandro Hahn.



**Figura 7.** Crescimento do tronco de plantas de pessegueiro acumulado em cinco safras submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo (SC) em cinco safras (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024). Fonte: Nava et al. (2025b).

O sucesso da exploração de um pomar com pêsego como uma atividade agrícola rentável está associado ao alto rendimento de frutos de maior calibre, pois a remuneração do fruticultor está atrelada a um grande número de frutos graúdos. Porém, estes frutos precisam apresentar alguns atributos de qualidade que permitam a manutenção da qualidade após a colheita e quando são selecionados pelo consumidor para a compra. Os atributos de qualidade mais importantes considerados na hora da venda são a firmeza de polpa, o teor de sólidos solúveis (Brix), a acidez e a cor vermelha da epiderme. Além disso, os frutos precisam apresentar teores minerais adequados. Alguns produtores também armazenam os frutos em câmara-fria por um período não superior a um mês, buscando um melhor preço de venda em períodos com menor oferta de frutos. Para estes casos, os frutos precisam manter os atributos de qualidade por um período ainda maior. Os atributos da qualidade de frutos na colheita e após um período de 28 dias de armazenagem em câmara-fria foram avaliados no experimento conduzido em Fraiburgo.

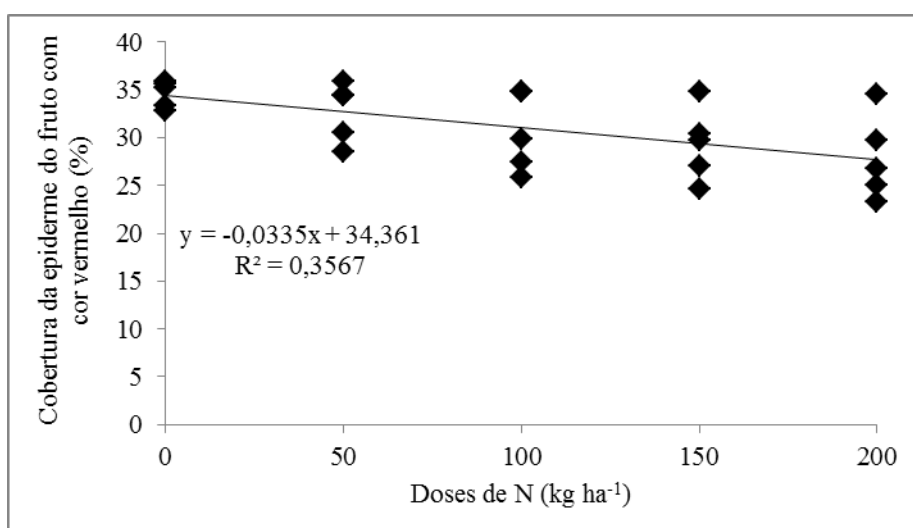
Na média de cinco safras, o aumento das doses de N de 0 para 200 kg ha<sup>-1</sup> aumentou os teores de N nos frutos de pêssigo (Figura 7). Os demais nutrientes nos frutos não tiveram efeito do N. Além disso, o aumento das doses de N diminuiu a cobertura da epiderme dos frutos com a cor vermelha (Figuras 8 e 9). Este resultado está associado ao efeito de maiores concentrações de N na polpa reduzir a formação de antocianinas na epiderme (Vashisth et al., 2017), mas também a uma menor entrada e incidência de radiação solar sobre os frutos quando há excessivo crescimento da parte aérea das plantas estimuladas pelo N. A radiação solar estimula a síntese de antocianinas e frutos com maior cobertura com cor vermelha têm maior preferência dos consumidores (Zhou et al., 2020).



**Figura 7.** Teor de nitrogênio (N) em frutos de plantas de pessegueiro submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo (SC) em cinco safras (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024) Fonte: Nava et al. (2025b).

Na colheita dos frutos, os atributos de qualidade firmeza de polpa, o teor de sólidos solúveis (Brix) e a acidez não foram afetados pelas doses de N na média das cinco safras no experimento em Fraiburgo. Em três das cinco safras, os frutos também foram armazenados durante 28 dias em câmara fria a 0 °C e os atributos de qualidade novamente foram avaliados. Nesta avaliação, a firmeza de polpa, o Brix e a acidez não foram afetadas pelas doses de N. A ocorrência de distúrbios fisiológicos típicos de frutos de pêssigo armazenados como epiderme translúcida,

degenerescência interna e escurecimento interno foi avaliada, porém, sem efeito das doses de N. No entanto, em duas das três safras avaliadas, o incremento nas doses de N resultou em maior incidência de frutos com podridão (Figura 10). Na safra de 2022, na dose de 0 kg ha<sup>-1</sup>, 10,3% dos frutos apresentou podridão, aumentando para 19,7% com a dose 200 kg ha<sup>-1</sup>. Já na safra 2023, nestas mesmas doses, a incidência de podridão aumentou de 5,4 para 15,6%, respectivamente nas doses 0 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N.

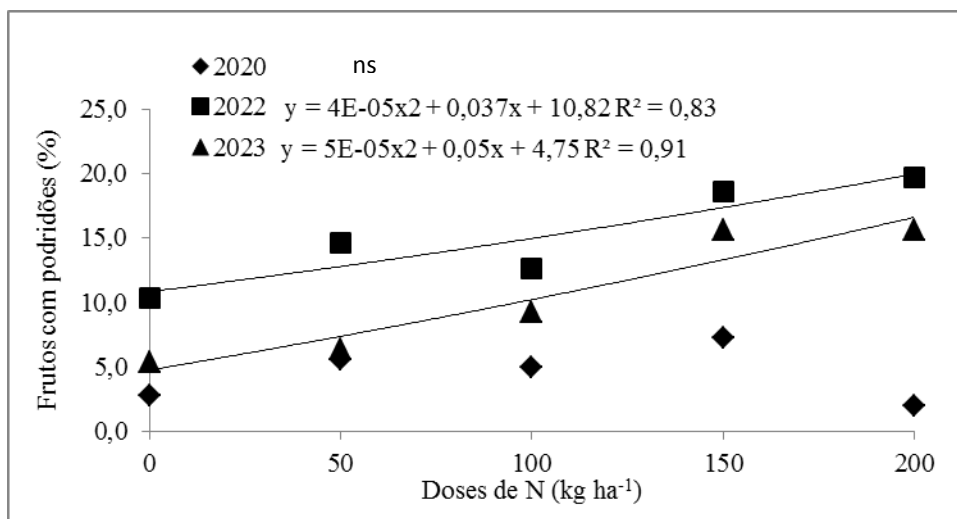


**Figura 8.** Cobertura da epiderme do fruto com cor vermelho na colheita de plantas de pessegueiro acumulado em cinco safras submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo (SC) em cinco safras (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024).

Fonte: Nava et al. (2025b).



**Figura 9.** Coloração de frutos de pessegueiro submetidas às doses de nitrogênio (0 a 200 kg ha<sup>-1</sup>) em Fraiburgo (SC). Foto: Leandro Hahn.



**Figura 10.** Incidência de podridão de frutos de pessegueiro de plantas submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo (SC) nas safras de 2020, 2022 e 2023, após 28 dias de armazenagem em câmara-fria. (dados não publicados).

As informações sobre qualidade dos frutos obtidas nos experimentos são de grande importância para o fruticultor, pois, apesar de haver aumento da produção de frutos com aumento das doses de N, espera-se um maior descarte de frutos se estes forem armazenados, o que não é desejado.

## 6. Valores de referência de nutrientes em folhas de pessegueiros

Os nutrientes absorvidos pelas plantas de pessegueiro podem ser diagnosticados nas folhas quando estas são coletadas em épocas adequadas e os teores determinados em laboratórios confiáveis. Estes teores foliares precisam ser interpretados à luz de valores de referência obtidos em experimentos de longo prazo que levam em conta informações como cultivares, produtividade dos pomares e várias safras. Para o estado de SC, estamos propondo valores de referência para interpretação dos teores minerais, os quais foram obtidos em experimentos de longa duração em Fraiburgo mas também em pomares comerciais (Tabela 1). As cultivares Fascínio, Kampai, Regalo, Eragil, Chimarrita, Barbosa, Rubra Moore, PS10711 foram analisadas com auxílio da metodologia Diagnose da

Composição Nutricional ou *Compositional Nutrient Diagnosis* (CND) e consideradas para definição dos teores minerais adequados para folhas de pessegueiros em SC.

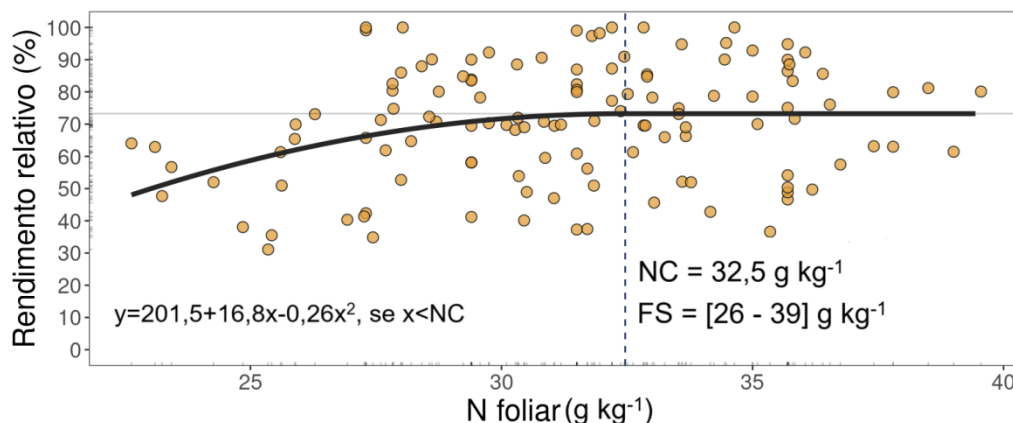
De um modo geral, os níveis críticos e faixas de suficiência de teores dos nutrientes propostos para SC estão próximos aos valores propostos para o RS (Tabela 1). Os teores de enxofre (S) e ferro (Fe) são bem mais altos para SC em comparação ao RS. De todos os nutrientes, os teores de K são notadamente mais altos na proposição para SC e RS em comparação à CQFS-RS/SC (2016). Para a recomendação oficial de CQFS-RS/SC (2016) a faixa de suficiência de K varia de 14,0 a 20,0 (g kg<sup>-1</sup>). Para SC a faixa varia de 24,3-28,3 g kg<sup>-1</sup> e para RS de 21,5 - 25,0 g kg<sup>-1</sup>. Por outro lado, as faixas de suficiência de B para SC e RS, 27,7-29,3 e 23,0 - 27,0 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, são menores que os valores recomendados pela CQFS-RS/SC (2016) (30,0 - 60,0 mg kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 1.** Níveis críticos e faixa de suficiência para nutrientes no limbo foliar em pessegueiro cultivadas na região Vale do Rio do Peixe (SC) propostos com auxílio da metodologia *Compositional Nutrient Diagnosis* (CND) em comparação com a recomendação oficial de RS e SC e valores propostos para o RS.

Nutriente	Valores propostos para SC <sup>1</sup>		CQFS-RS/SC (2016)	Valores propostos para RS <sup>2</sup>	
	Nível crítico	Faixa de suficiência	Faixa de suficiência	Nível crítico	Faixa de suficiência
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
N	34,5	31,6-37,5	33,0 – 45,0	31,0	28,0 – 33,0
P	2,8	2,6-2,9	1,5 – 3,0	2,8	2,5 – 3,0
K	26,3	24,3-28,3	14,0 – 20,0	23,5	21,5 – 25,0
Ca	23,4	19,9-26,9	17,0 – 26,0	28,5	26,0 – 31,0
Mg	5,4	5,0-5,7	5,0 – 8,0	4,5	4,0 – 5,0
S	3,4	1,9-4,9	-	0,85	0,70 – 1,00
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
B	28,5	27,7-29,3	30,0 – 60,0	25,0	23,0 – 27,0
Cu	10,9	4,7-17,1	6,0 – 30,0	9,0	7,0 – 12,0
Fe	148,2	79,0-217,4	100,0 – 230,0	72,0	65,0 – 80,0
Mn	165,8	155,1-176,5	-		
Zn	28,3	23,4-33,2	-		

<sup>1</sup> Cultivares Fascínio, Kampai, Regalo, Eragil, Chimarrita, Barbosa, Rubra Moore, PS10711. Produtividade de pomares acima de 19,2 t ha<sup>-1</sup> (dados não publicados). Fonte: Nava et al (2025b).

Os teores críticos e a faixa de suficiência de N propostos para SC (Tabela 1) são confirmados pelo estudo de Nava et al. (2025b) em experimento conduzido por cinco safras em Fraiburgo. Os autores identificaram um teor crítico de N em folhas de 32,5 g kg<sup>-1</sup> e uma faixa de suficiência entre 26 e 39 g kg<sup>-1</sup> (Figura 11). Esses valores são superiores aos observados por Nava et al (2022), os quais obtiveram um teor crítico de 27,8 e uma faixa de suficiência de 26,5 a 29,4 g kg<sup>-1</sup> de N para produção de pêssegos tipo indústria da região de Pelotas, RS. Entretanto, em ambos estudos, as faixas de suficiência foram inferiores à recomendada pela CQFS-RS/SC (2016) (33,0 - 45,0 g kg<sup>-1</sup>), o que indica necessidade de ajustes nas recomendações, tanto para SC como para o RS.



**Figura 11.** Nível crítico (NC) e faixa de suficiência (FS) de N foliar em relação ao rendimento relativo da produção de frutos em plantas de pessegueiro submetidas à adubação nitrogenada em Fraiburgo (SC), em cinco safras (2020, 2021, 2022, 2023 e 2024). Fonte: Nava et al. (2025).

## 7. Considerações finais

Diversas ferramentas estão disponíveis para o conhecimento, análise e monitoramento da necessidade de correção e melhorias da fertilidade do solo e da nutrição do pessegueiro. Desde a implantação do pomar, o acompanhamento do estado nutricional das plantas e do solo é importante para a obtenção de adequados resultados em termos de produção e qualidade dos frutos, seja para comercialização imediata ou para armazenagem e comercialização em médio-longo prazo. O desafio atual de produtores e técnicos do setor é tomar decisões considerando as novas cultivares, porta-enxertos e manejo dos pomares (densidade de plantas, produtividade esperada, sistemas de condução, irrigação, fertirrigação e cobertura do pomar), frente às frequentes alterações climáticas em SC. Por isso, é importante a continuidade das pesquisas sobre o estado nutricional, calagem e adubações na cultura do pessegueiro. As indicações e sugestões apresentadas neste capítulo representam importantes subsídios aos técnicos e produtores de pêssego. Porém, sugerem-se aos técnicos, que depois de aplicarem as recomendações contidas no presente capítulo, relatem aos pesquisadores as suas observações. Isso também, junto com novos resultados de pesquisa, contribuirá na melhoria de futuras recomendações.

## 8. Referências Bibliográficas

BARRETO, C. F.; ANTUNES, L. E. C.; FERREIRA, L. V.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; NAVA, G. Nitrogen fertilization and genotypes of peaches in high-density. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 42, 2020. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020629>

CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. 11<sup>ed.</sup> 2016, 376p.

DOLINSKI, M. A.; DANGELO, J. W. de O.; CUQUEL, F. L.; MOTTA, A. C. V.; MIO, L. L. M. Quality peach produced in fertilizer doses of nitrogen and green pruning. *Bragantia*, v. 77, p. 134-140, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2016307>

EMBRAPA SOLOS. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46).

FERREIRA, L. V.; PICOLOTTO, L.; PEREIRA, I. S.; SCHMITZ, J. D.; ANTUNES, L. E. C. Nitrogen fertilization in consecutive cycles and its impact on high-density peach crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, p. 172-181, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000200005>

GOMEZ, J. R.; BACA, J.; GARZON, F. Techno-economic analysis and life cycle assessment for electrochemical ammonia production using proton conducting membrane. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 45, n. 1, p. 721-737, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.174>

IBGE. Produção de Pêssego. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pessego/sc>. Acesso em 21 de novembro de 2025.

MEDICI, M., CANAVARI, M., TOSELLI, M. Interpreting environmental impacts resulting from fruit cultivation in a business innovation perspective. *Sustainability*. 12, 9793, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12239793>

NAVA, G.; REISSER JUNIOR, C.; PARENT, LÉON-ÉTIENNE; BRUNETTO, G.; MOURA-BUENO, J. M.; NOVRAISKI, R.; BENATI, J. A.; BARRETO, C. F. Esmeralda peach (*Prunus persica*) fruit yield and quality response to nitrogen fertilization. *Plants*, v. 11, n. 3, p. 352, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11030352>

NAVA, G.; MOURA-BUENO, JM.; HAHN, L.; BARRETO, C.F.; BENATI, JA.; BRUNETTO, G.; NAVROSKI, R.; HINDERSMANN, J.; PAESE, B.T.; DE PAULA, BV. Calagem, adubação e estado nutricional em pessegueiro. In: BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; MORTELE, D. F.; TIECHER, T. L.; HAHN, L.; MELO, G. W. B. de Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas. 3. ed. Santa Maria, RS: 2025b. p. 383-403.

NAVA, G.; RECH FILHO, A.; ZAGO, E.; HAHN, L.; VICENTE, A. A. J.; MOREIRA, E. B.; BIAVA, V. A. Status nutricional de pessegueiros da região do alto vale do rio do peixe em SC. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 29, 2025, Campinas, Sp. Anais [...]. Campinas, SP: SBF, 2025a. p. 605.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H.

MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PESSEGUEIROS

N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 6<sup>ed.</sup>, Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

VASHISTH, T.; OLMSTEAD, M. A.; OLMSTEAD, J.; COLQUHOUN, T. A. Effects of nitrogen fertilization on subtropical peach fruit quality: organic acids, phytochemical content, and total antioxidant capacity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 142(5), 393–404, 2017. <https://doi.org/10.21273/JASHS04011-16>

ZHOU, D.; LI, R.; ZHANG, H.; CHEN, S.; KANG T. Hot air and UV-C treatments promote anthocyanin accumulation in peach fruit through their regulations of sugars and organic acids. *Food Chemistry*, 309, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125726>.

## *Capítulo 10*

# Manejo de Micronutrientes em Pessegueiro

Gilberto Nava<sup>(1)</sup>  
Frederico Costa Beber Vieira<sup>(2)</sup>  
Leandro Hahn<sup>(3)</sup>

### **Resumo**

Compreender o comportamento dos micronutrientes no solo e na planta, assim como as interações com práticas de manejo como a calagem e as adubações é fundamental para o sucesso da produção de pêssegos. Este capítulo aborda as particularidades do fornecimento e da disponibilidade de micronutrientes em solos intemperizados, comuns nas regiões tropicais e subtropicais de cultivo do pessegueiro do Brasil, destacando estratégias de diagnóstico e correção. São discutidas práticas como a análise foliar e do solo, o uso de fontes corretas, modos de aplicação (via solo e foliar) e épocas de aplicação, além da importância de práticas de manejo integradas com a calagem e a adubação para melhorar a eficiência do uso desses nutrientes. Finalmente são apresentados os principais sintomas visuais de deficiência de micronutrientes no pessegueiro, abordando suas manifestações típicas em folhas, com o objetivo de auxiliar no diagnóstico precoce e no manejo corretivo.

**Palavras – chave:** micronutrientes, adubação, fontes, forma de aplicação

---

<sup>(1)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo. Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPACT), Pelotas, RS, Brasil. E-mail: gilberto.nava@embrapa.br

<sup>(2)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Av. Antonio Trilha, 1847, CEP 97300-162, São Gabriel, RS, Brasil. E-mail: fredericovieira@unipampa.edu.br

<sup>(3)</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo. Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri), Estação Experimental de Urussanga, Urussanga, SC, Brasil. E-mail: leandrohahn@epagri.sc.gov.br

## **1.Introdução**

O cultivo do pessegueiro em solos intemperizados impõe desafios específicos quanto ao manejo nutricional, sobretudo no que diz respeito aos micronutrientes. Estes solos, amplamente distribuídos em regiões tropicais e subtropicais do Brasil, apresentam intensa lixiviação, acidez elevada e baixa concentração natural de nutrientes, o que contribui para a limitação da disponibilidade de micronutrientes essenciais ao metabolismo e à fisiologia das plantas. A deficiência desses elementos pode comprometer o crescimento vegetativo, a frutificação, a qualidade dos frutos e a longevidade dos pomares.

Neste contexto, compreender o comportamento dos micronutrientes no solo e na planta, assim como as interações com práticas de manejo como a calagem, adubações orgânicas e uso de corretivos, é fundamental para o sucesso da produção. Além disso, o uso de ferramentas de diagnóstico, como a análise foliar e a interpretação crítica de sintomas visuais, é indispensável para o ajuste preciso da adubação. Este capítulo tem como objetivo apresentar um panorama técnico e aplicado sobre o manejo de micronutrientes em pessegueiros cultivados em solos intemperizados, fornecendo orientações práticas com base em evidências científicas e experiências de campo.

Neste trabalho serão apresentados os principais sintomas visuais de deficiência de micronutrientes no pessegueiro, abordando suas manifestações típicas em folhas, ramos e frutos, com o objetivo de auxiliar no diagnóstico precoce e no manejo corretivo. Além disso, serão discutidas práticas eficazes para a prevenção e o controle dessas deficiências, incluindo estratégias de calagem, adubações orgânicas e minerais, escolha adequada de fontes e formas de aplicação (via solo e foliar), bem como o uso integrado de análises de solo e tecido vegetal para um manejo nutricional mais preciso e eficiente em pomares estabelecidos em solos intemperizados.

## 2. Interpretação da disponibilidade micronutrientes no solo

Concentrações no solo acima de 0,4; 0,5; 0,3 e 5,0 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente para cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) manganês (Mn), são considerados adequados para a implantação de um pomar de pêsego nos estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). No entanto, estes valores são genéricos para todas as culturas agrícolas dos dois estados e nunca foram calibrados para o pêsego. Se a análise de solo apontar teores de micronutrientes abaixo da classe de disponibilidade “alta”, como indicado na Tabela 1, correções precisam ser realizadas.

**Tabela 1.** Interpretação dos teores de micronutrientes no solo.

Classes de disponibilidade	Cobre	Zinco	Boro	Manganês
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
Baixo	<0,2	<0,2	<0,2	<2,5
Médio	0,2-0,4	0,2-0,5	0,2-0,3	2,5-5,0
Alto	>0,4	>0,5	>0,3	>5,0

Fonte: Adaptado de CQFS-RS/SC (2016).

## 3. Micronutrientes em pré-plantio

Aplicações via solo antes do plantio das mudas é a forma mais eficiente e duradoura de correção dos micronutrientes. Os micronutrientes aplicados na fase que antecede o plantio das mudas de pessegueiro, quando diagnosticada a necessidade, normalmente são o boro (B) e o zinco (Zn). Entre eles, o B é o mais comumente utilizado. Em geral, recomenda-se aplicar 2 a 3 kg ha<sup>-1</sup> de B na fase de pré-plantio dos pessegueiros (CQFS-RS/SC, 2016).

Diversas fontes de B podem ser utilizadas, como a ulexita, colemanita, o ácido bórico, bórax entre outras. A ulexita e a colemanita são minerais naturais

com liberação mais lenta do elemento, proporcionando suprimento contínuo por maior período. Também é amplamente usado o bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), uma fonte tradicional de B que apresenta solubilidade intermediária, sendo eficaz em aplicações ao solo. Outra fonte bastante empregada é o ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), altamente solúvel, indicado tanto para aplicações via solo quanto para pulverizações foliares, especialmente quando se busca rápida correção da deficiência. Assim, a escolha entre as fontes depende das características de velocidade de solubilização, mas também da disponibilidade no comércio local e do custo. Deve-se ter em conta que fontes mais solúveis de B podem ter menor eficiência se aplicadas em solos arenosos e com baixa matéria orgânica, por serem mais propensos a perdas por lixiviação. Neste caso, fontes menos solúveis e o fracionamento de doses podem ser recomendados, especialmente ao considerar que as mudas de pessegueiro apresentam sistemas radiculares em formação.

As principais fontes de Zn disponíveis para uso em pomares podem ser divididas em fontes inorgânicas e fontes orgânicas ou complexadas. Entre as inorgânicas, destacam-se o sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) e o óxido de zinco (ZnO). O sulfato de zinco é a fonte mais utilizada, devido à sua elevada solubilidade em água e baixo custo. O óxido de zinco, por sua vez, apresenta baixa solubilidade e liberação gradual, sendo recomendado em misturas de fertilizantes granulados ou em correções de longo prazo. A incorporação de resíduos ricos em Zn, como o esterco de suínos, também constitui uma alternativa de suprimento deste elemento, desde que atenda às normas ambientais quanto ao uso e aplicação. Vale salientar que atualmente são preconizados concentrações máximas de Zn a serem atingidos no solo após a aplicação de dejetos animais (Instituto do Meio Ambiente, 2024).

A concentração de fósforo (P) no solo pode induzir a deficiência de zinco (Zn) nas plantas devido à interação negativa entre esses nutrientes na absorção e translocação. O excesso de P pode reduzir a disponibilidade de Zn ao formar complexos insolúveis no solo, tornando-o menos acessível às raízes. Além disso,

níveis elevados de P estimulam a produção de compostos orgânicos nas raízes que inibem a absorção de Zn, além de comprometer sua mobilidade dentro da planta. Como resultado, mesmo que o solo contenha quantidades adequadas de Zn, a sua disponibilidade para as plantas pode ser limitada, levando a sintomas de deficiência.

Os solos oriundos de rochas sedimentares tendem a apresentar, naturalmente, teores de Zn menores do que aqueles onde o material de origem é rocha ígnea básica. Portanto, pomares de pêsego do sul do estado do RS tendem a necessitar de mais fertilização com Zn do que aqueles da região das serras gaúchas e catarinenses. O B, por sua vez, tende a encontrar-se mais elevado em solos de rochas sedimentares do que ígneos, em solos sem efeito antrópico.

É importante enfatizar que o pessegueiro é especialmente sensível ao excesso de B e de Zn e, por isso, o adubo deve ser distribuído de forma uniforme, evitando zonas de concentração, o que poderia causar toxidez. Do ponto de vista da eficiência agrônômica e operacional, a aplicação conjunta de micronutrientes com os grânulos dos macronutrientes, via fertilizantes formulados ou pela mistura física no momento da adubação, apresenta-se como uma estratégia pragmática para contornar os desafios intrínsecos à aplicação a campo de pequenas quantidades destes elementos. Esta prática mitiga significativamente os problemas de desuniformidade de distribuição. Consequentemente, evita-se a formação de zonas com excesso, que podem induzir à fitotoxicidade, ou de deficiência, maximizando a disponibilidade para as plantas e otimizando o retorno econômico da adubação com micronutrientes.

#### **4. Aplicação de micronutrientes via foliar**

Para o sistema produtivo do pessegueiro, o uso da adubação foliar segue as mesmas recomendações gerais das demais frutíferas. As raízes representam a principal via de absorção de nutrientes para a planta, assim o suprimento via foliar se justifica em situações em que as plantas apresentam dificuldades na absorção de

nutrientes pelo solo, seja por fatores como o estresse hídrico, temperaturas extremas, compactação do solo ou desequilíbrios na disponibilidade de nutrientes. A aplicação de nutrientes, também é indicada quando há dificuldade de translocação/redistribuição interna na planta, principalmente quando se deseja uma resposta rápida da planta, como em estágios críticos de desenvolvimento, a exemplo do florescimento e da frutificação. O B é um elemento cuja mobilidade interna é reconhecidamente influenciada pelas características específicas de cada espécie vegetal. No entanto, no pessegueiro o B é considerado parcialmente móvel, o que permite sua translocação de tecidos mais velhos e subsequente alocação em tecidos mais jovens. De qualquer forma, a adubação foliar complementa de forma eficiente a adubação via solo, corrigindo rapidamente deficiências de micronutrientes, os quais, por serem exigidos em pequenas quantidades, podem ser supridos adequadamente por aplicações foliares.

Uma vantagem da adubação foliar é que a dose a ser aplicada pode ser baixa, não necessitando de um alto número de aplicações, como é o caso do B. Embora o solo contenha B disponível, sua absorção pelas raízes pode ser limitada por fatores como pH elevado, textura do solo e condições climáticas adversas. Tanto o excesso de água, podendo promover a lixiviação de B, quanto à falta de água, limitando o deslocamento e a absorção deste nutriente, podem influenciar a disponibilidade de B. Nesse contexto, a aplicação foliar surge como uma estratégia eficiente para suprir rapidamente as necessidades das plantas em fases específicas como em pré-floração/floração, visando aumentar a frutificação efetiva.

Aplicações foliares também podem ser eficientes em pós-colheita, visando aumentar as reservas do nutriente na planta para ser utilizado na safra seguinte. O bórax (11% B), solubor (20% B) ou ácido bórico (17% B) geralmente são as fontes que podem ser utilizadas para este fim, em quantidades que variam de 150 a 300 gramas/100 L de água, dependendo da concentração de B do produto.

Em relação ao Zn, as pulverizações de quelatos de Zn proporcionam maior grau de segurança em relação a fontes não-quelatadas e podem ser aplicadas

durante as fases vegetativas da planta. Duas pulverizações de quelatos de Zn aplicadas em intervalos de 10 a 14 dias, começando 1-2 semanas após a queda das pétalas, em geral são suficientes para atender as necessidades deste elemento pelo pessegueiro. Várias formulações de Zn quelatado estão disponíveis no mercado. As doses devem ser utilizadas conforme a recomendação dos próprios fabricantes ou ajustadas conforme doses que não causem fitotoxicidade.

Os quelatos apresentam maior estabilidade na calda de pulverização, melhor absorção pelas folhas e menor risco de precipitação em misturas com outros fertilizantes ou defensivos. Além disso, reduzem a possibilidade de fitotoxicidade. São recomendados especialmente quando há necessidade de respostas rápidas. Embora o sulfato de Zn também possa ser utilizado, recomenda-se o uso deste somente nas fases que antecedem a brotação, devido ao alto potencial em causar fitotoxicidade, além de ser um produto corrosivo para equipamentos e sistemas de fertirrigação. A adubação foliar deve ser realizada em horários de menor intensidade térmica, como no início da manhã ou no final da tarde, a fim de reduzir perdas por evaporação e minimizar o risco de fitotoxicidade.

A deficiência de ferro (Fe) em folhas de pessegueiro pode ocorrer em algumas cultivares e/ou porta-enxertos, especialmente em uma sequência de dias nublados coincidindo com períodos de rápida expansão dos ramos, brotações e folhas. A menor incidência de luz solar reduz a taxa de fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de energia necessária para a absorção ativa de nutrientes. O Fe é componente da clorofila e essencial para atividade de enzimas, assim, com baixa atividade radicular, a acidificação da rizosfera é reduzida, diminuindo a absorção do elemento do solo. Em geral essa deficiência tende a desaparecer sem a necessidade de aplicações foliares, exceto em pomares com pH do solo muito elevado, pouco comum nas condições brasileiras. Eventualmente, se necessário, fontes quelatadas de Fe podem ser aplicadas via foliar.

A interação de cultivares e porta-enxertos vale não apenas para o Fe, mas também para os demais micronutrientes (Leonel et al., 2011). Por isso, a amostragem correta e a separação das amostras por cultivar e por porta-enxerto devem ser cuidadosamente realizadas.

## **5. pH do Solo e a disponibilidade de micronutrientes**

O pH do solo é um dos principais fatores químicos que influenciam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, atuando diretamente na solubilidade e na forma química em que os elementos estão presentes na solução do solo. Assim como a maioria das culturas, o pessegueiro apresenta melhor desenvolvimento em solos com pH entre 5,5 e 6,5, faixa na qual a maioria dos micronutrientes apresenta disponibilidade adequada. Entretanto, para os micronutrientes, o pH exerce papel particularmente determinante, podendo levar à deficiência ou à toxicidade dependendo das condições.

Em solos ácidos (pH abaixo de 5,5), elementos como Fe, Zn, Mn e Cu tendem a apresentar maior solubilidade, o que favorece sua absorção pelas plantas. Contudo, quando o pH é muito baixo, a solubilidade excessiva pode atingir níveis tóxicos, prejudicando o metabolismo vegetal e causando sintomas de clorose, necrose ou redução do crescimento.

Por outro lado, em solos alcalinos (pH acima de 7,0), a disponibilidade de micronutrientes catiônicos como Fe, Mn, Zn e Cu é fortemente reduzida devido à precipitação e/ou à adsorção forte nas cargas elétricas das partículas sólidas minerais e orgânicas do solo. Este mecanismo químico é denominado de quimiossorção. Nessas condições, é comum observar deficiências, mesmo quando o solo apresenta teores totais adequados, pois a forma disponível para absorção radicular é limitada. Já o molibdênio (Mo) apresenta comportamento inverso, sendo que sua disponibilidade aumenta com o aumento do pH, podendo ser deficiente em solos muito ácidos e excessivo em solos muito alcalino. O B e o Cl completam os micronutrientes aniônicos. Ambos têm menor disponibilidade em

pH ácido. No entanto, o Cl fica mais disponível quanto mais alcalino for o solo, enquanto o B tende a ter máxima disponibilidade em pH neutro, diminuindo sua disponibilidade em solos calcários.

O controle do pH do solo é, portanto, uma prática fundamental no manejo da fertilidade, influenciando diretamente a disponibilidade de micronutrientes. A recomendação oficial de calagem para pessegueiro para os estados do RS e SC preconiza  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  do solo igual a 6,0. Cabe ressaltar que neste pH de solo não há comprometimento significativo da disponibilidade dos micronutrientes. Portanto, não se deve deixar de aplicar calcário por motivos de redução da disponibilidade de micronutrientes. Certamente os efeitos positivos da calagem superam qualquer redução na disponibilidade de micronutriente. Ao mesmo tempo, cuidados na realização da calagem devem ser tomados visando à homogeneidade da aplicação e o uso da dose correta para cada caso, com base em análise de solo e sua adequada interpretação.

Ali et al. (2014) avaliaram a aplicação de micronutrientes via foliar em pessegueiros cultivados em solos calcários e deficientes em micronutrientes no Paquistão. Os autores descrevem que a aplicação de micronutrientes afetou aspectos quantitativos (produtividade, tamanho de fruto e forma do fruto) e qualitativos, diminuindo o pH do suco e aumentando o teor de sólidos solúveis e de vitamina C do suco. Assim, mesmo que a limitação por escassez de micronutrientes não seja severa, é importante monitorar de perto nos pomares de pessegueiros visando a qualidade do fruto.

## **6. Matéria Orgânica e disponibilidade de micronutrientes**

Solos com maior teor de matéria orgânica tendem a apresentar maior fertilidade em comparação àqueles com menores concentrações. No entanto, principalmente na fase de produção de mudas em viveiros, o cultivo de mudas em substratos essencialmente orgânicos pode requerer fertilizações adicionais de micronutrientes para as mudas. Isto ocorre devido à complexação de

micronutrientes nas frações orgânicas destes substratos. Neste processo, micronutrientes, como Fe, Zn, Mn, Cu, entre outros, se ligam fortemente a moléculas orgânicas, formando complexos estáveis. A formação e a solubilidade destes complexos dependem, dentre outros fatores, do pH do substrato.

Os materiais orgânicos são constituídos por ácidos húmicos e fúlvicos, polifenóis, aminoácidos, peptídeos, proteínas e polissacarídeos, os quais podem formar complexos com íons metálicos. Para Stevenson & Ardakani (1972), a formação desses complexos orgânicos podem diminuir a solubilidade dos micronutrientes, em virtude da formação de complexos com ácidos húmicos, como aumentar sua disponibilidade em virtude da complexação com ácidos fúlvicos e outros compostos orgânicos anteriormente descritos, o que influencia na disponibilidade destes nutrientes para as plantas.

Em termos gerais, o poder de formação de complexos diminui seguindo a ordem: Cu>Zn>Mn. Portanto, dentre os micronutrientes, o Cu é o que mais interage com a fração orgânica, formando complexos estáveis, especialmente com grupos carboxílicos e fenólicos. A elevada estabilidade desses complexos faz com que a maioria das deficiências de Cu em pessegueiro, a campo, tenha sido associada a solos orgânicos.

## **7. Funções e sintomas de deficiência de micronutrientes**

### **Boro (B)**

O B desempenha um papel crítico na formação e estabilidade da parede celular. Ele está envolvido na ligação cruzada de polissacarídeos pécticos, o que fortalece a parede celular e favorece a integridade estrutural. Além das funções estruturais, o B contribui para o funcionamento das membranas, transporte de nutrientes e metabolismo de açúcares e ácidos nucleicos. Também é vital para o desenvolvimento reprodutivo, incluindo a germinação do pólen, o crescimento do tubo polínico e a formação de frutos (Brown et al., 2002).

Embora o pessegueiro seja uma espécie cujo B é considerado móvel, por produzir açúcares do tipo de polióis, esta mobilidade é lenta e os sintomas de deficiência de B são observados nas folhas novas, que apresentam aspecto coriáceo e ondulação nas bordas (deformadas). Com a evolução dos sintomas, ocorre a queda das folhas novas, a paralisação do crescimento dos ramos e a necrose da gema apical (Figura 1). Malavolta (2006) relata que a deficiência de B promove rápido endurecimento da parede celular, o que não permite o aumento normal no volume da célula.

Como o B está envolvido na divisão e desenvolvimento celular, sua deficiência causa morte dos pontos de crescimento vegetativo (Taiz et al., 2017). A morte apical dos brotos, onde estão presentes tecidos meristemáticos, afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento dos ramos laterais, cujos pontos de crescimento também podem vir a ser deformados ou morrer, causando o sintoma conhecido por “enrosetamento” (Figuras 1a e 1b). As folhas geralmente ficam grossas, têm uma textura acobreada e se tornam enroladas e quebradiças, sendo que o crescimento das folhas jovens é inibido. O tecido das plantas com deficiência de B geralmente se decompõe prematuramente, causando manchas marrons e, posteriormente, manchas necróticas (Gupta & Solanki, 2013; Taiz et al., 2017).



**Figura 1.** Sintomas de deficiência de B em mudas de pessegueiro: a) inibição de crescimento dos pontos apicais do ramo; b) enrosetamento. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Fotos: Bernardo Ueno.

### **Zinco (Zn)**

O Zn atua principalmente como componente estrutural e catalítico de muitas enzimas, incluindo aquelas envolvidas na síntese de proteínas, metabolismo de carboidratos, regulação da auxina (hormônio de crescimento) e defesa antioxidante (Broadley et al., 2007). Além disso, é necessário para a biossíntese da clorofila (Taiz et al., 2017). O Zn também é importante para a manutenção da integridade das membranas, estabilização de biomoléculas e regulação da expressão gênica (Alloway, 2008).

A clorose internerval nas folhas mais novas e o encurtamento dos internódios (Marschner, 2012) são os sintomas típicos de deficiência de Zn (Figura 2), uma vez que é um nutriente pouco móvel nas folhas (Taiz et al., 2017). Também, este nutriente participa da síntese proteica (devido à relação com a atividade da RNAase) e é importante para a síntese de triptofano (precursor na rota da síntese de auxinas), com sua deficiência provocando retardo no crescimento.

Por isso, a deficiência geralmente resulta em crescimento reduzido, clorose, diminuição da expansão foliar e encurtamento dos internódios (Marschner, 2012), conforme observado na figura 2, além de necrose no meristema apical da raiz (Broadley et al., 2007; Taiz et al., 2017).



**Figura 2.** Sintomas de deficiência de Zn em mudas de pessegueiro caracterizadas pela clorose e tamanho reduzido de folhas novas e encurtamento de internódios. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2024. Fotos: Bernardo Ueno.

### **Ferro (Fe)**

O Fe está relacionado a diversas atividades metabólicas, participando da formação de algumas enzimas (catalase, peroxidase, citocromo oxidase e xantina oxidase), além de ser indispensável nos processos de fotossíntese, fixação de  $N_2$  e transferência de elétrons, uma vez que participa ativamente na ferredoxina e leghemoglobina (Epstein & Bloom, 2006; Guerinot & Yi, 1994).

As plantas com deficiência de Fe apresentaram clorose nas folhas mais novas e nervuras finas e de coloração verde escura (Figuras 3, 4 e 5), contudo, normalmente não evoluem para necrose dos tecidos. As nervuras de coloração

verde escura são sintomas típicos da deficiência de Fe (Souza et al., 2015; Valentinuzz et al., 2015). Este nutriente é pouco móvel na planta, assim, o aparecimento de clorose nas folhas mais novas decorre da menor atividade da ferredoxina e, conseqüentemente, menor síntese de clorofila (Epstein & Bloom, 2006; Marschner, 2012).



**Figura 3.** Sintomas de deficiência de Fe em folhas de pessegueiro, iniciando com amarelecimento de folhas novas e evoluindo para a formação de um reticulado fino (verde intenso) das nervuras principais e secundárias das folhas. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

Uma vez que o Fe é essencial para a síntese de clorofila e como componente da cadeia de transporte de elétrons na fotossíntese, condições nubladas reduzem a intensidade da luz, diminuindo a taxa de fotossíntese, o que limita a energia (ATP e poder redutor) necessária para a absorção ativa e assimilação do Fe (Lindsay, 1972). Portanto, como descrito anteriormente no capítulo, dias nublados não reduzem a disponibilidade de Fe no solo, mas limitam os mecanismos dependentes de energia da planta para absorver e utilizar o Fe, tornando os sintomas de deficiência mais evidentes. Por isso, os sintomas de deficiência de Fe em pessegueiro ocorrem esporadicamente em folhas novas, em

períodos prolongados de dias nublados e geralmente desaparecem espontaneamente, sem necessidade de intervenções via adubação.



**Figura 4.** Sintomas de deficiência de ferro generalizada em folhas de pessegueiro. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Rodrigo Franzon.



**Figura 5.** Detalhes de sintomas de deficiência de ferro em ramo de pessegueiro. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

Deficiências de Fe em pessegueiro são pouco comuns em solos ácidos de regiões tropicais e subtropicais onde o pessegueiro é cultivado no Brasil, uma vez que há abundância do nutriente nessas condições. Contudo, sintomas podem aparecer, principalmente em períodos de baixa insolação e em locais no pomar que, por falhas de distribuição, houve acúmulo de calcário no solo.

### **Manganês (Mn)**

O Mn desempenha papel em diversos processos fisiológicos e bioquímicos. Sua principal função está no aparato fotossintético, onde atua como cofator no sistema de liberação de água do fotossistema II, possibilitando a liberação de oxigênio durante a fotólise (Marshner, 2012). O Mn também participa da ativação de inúmeras enzimas responsáveis pela respiração, assimilação de nitrogênio e síntese de metabólitos secundários. Além disso, contribui para a formação da clorofila, biossíntese de lignina e mecanismos de defesa contra o estresse oxidativo, por meio de sua atuação na enzima manganês superóxido dismutase (Mn-SOD). Devido a essas funções, o suprimento adequado de Mn é vital para o crescimento saudável, metabolismo energético eficiente e tolerância a estresses nas plantas.

Plantas com deficiência de Mn apresentam clorose internerval caracterizada como reticulado grosso (a parte verde próxima à nervura fica grossa) nas folhas mais novas (Figuras 6 e 7), o que é um sintoma típico para nutrientes com mobilidade limitada no interior da planta (Faquin, 2005). O sintoma clorótico ocorre, pois, o Mn é constituinte do fotossistema II, atuando na oxidação da molécula de água (Epstein & Bloom, 2006).



**Figura 6.** Detalhes de sintomas de deficiência de Mn em muda de pessegueiro caracterizado pela clorose de folhas novas com formação do reticulado grosso das nervuras principais. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

O Mn é absorvido ativamente pelo sistema radicular das plantas como  $Mn^{2+}$ , o qual é transportado pelo xilema, via corrente transpiratória. Entretanto, possivelmente devido à baixa estabilidade do quelato de Mn, este micronutriente é pouco redistribuído na planta. Como consequência, os sintomas de carência de Mn se manifestam primeiro nas folhas mais novas (Faquin, 2005). Sequências de dias com baixa radiação solar pode tornar mais visíveis os sintomas de deficiência de Mn.



**Figura 7.** Detalhes da formação do reticulado grosso de cor verde intenso nas nervuras de uma folha de pessegueiro com deficiência de Mn. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Foto: Gilberto Nava.

É importante salientar que em solos com pH baixo, o maior problema não é a deficiência de Mn, mas sim a toxicidade de manganês (Mn), uma vez que a acidez aumenta significativamente a solubilidade desse elemento na solução do solo, conforme já relatado anteriormente. Esta é uma situação que ocorre com frequência em pomares mal corrigidos e que receberam quantidades insuficientes de calcário na fase de implantação.

Uma vez que não é comum o aparecimento de sintomas de deficiência de Mn em pomares, praticamente não há estudos no Brasil que abordam a eficiência de formulações foliares de Mn em pessegueiro. Eventualmente, se comprovada a deficiência via análise foliar, os quelatos sintéticos de Mn, sobretudo à base de EDTA e DTPA, apresentam maior estabilidade em soluções de pulverização, menor suscetibilidade à oxidação e melhor compatibilidade em misturas quando comparados ao uso de outras fontes inorgânicas como os sulfatos e óxidos, reduzindo os riscos de causar fitotoxicidade. As doses variam em função do tipo de produto comercial.

## **Cobre (Cu)**

O Cu atua principalmente como componente de metaloproteínas e enzimas envolvidas em reações de oxirredução, como a plastocianina na fotossíntese, que facilita o transporte de elétrons na cadeia transportadora de elétrons fotossintética (Shahbaz et al, 2015; Xu et al., 2024). O Cu também é importante na defesa contra o estresse oxidativo, atuando como cofator de enzimas como a superóxido dismutase, responsável por neutralizar espécies reativas de oxigênio. Além disso, contribui para a síntese de lignina, auxiliando no fortalecimento da parede celular e na integridade estrutural, e influencia o crescimento reprodutivo, incluindo a viabilidade do pólen. Devido ao seu papel central na transferência de energia, no metabolismo de proteínas e na sinalização, a deficiência de Cu pode comprometer a fotossíntese, reduzir o crescimento e causar desordens fisiológicas nas plantas.

A deficiência de Cu raramente aparece em pomares adultos, por isso não há indicação de medidas para prevenção ou controle. Os sintomas são mais comuns em viveiros de produção de mudas à base de substratos (ex. turfa) e ficam evidentes nas folhas mais novas. As plantas deficientes apresentam engrossamento das nervuras, com coloração verde-pálido (Figuras 8a, 8b, 9<sup>a</sup> e 9b), podendo evoluir para pontos de clorose internerval, manchas avermelhadas e encarquilhamento das folhas (Silva et al., 2009; Marschner, 2012).



**Figura 8.** Sintomas de deficiência de cobre em mudas de pessegueiro. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2024. Fotos: Gilberto Nava e Bernardo Ueno.



**Figura 9.** Detalhes dos sintomas de deficiência de cobre em folhas de pessegueiro, indicando a formação de pontos (a) e zonas (b) esbranquiçadas na lâmina de folhas jovens. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2024. Fotos: Gilberto Nava.

## **8. Considerações Finais**

A adubação pessegueiros não requer aplicações regulares de micronutrientes, de forma geral. No entanto, estes nutrientes podem eventualmente ser limitantes à produção, especialmente em casos em que o pH elevado do solo dificulta a disponibilização dos micronutrientes para as plantas. Logo, a aplicação de micronutrientes deve ser restrita a casos em que a deficiência seja apontada pela análise química de solo ou foliar, pois o seu excesso pode ser tão ou mais

prejudicial para a produtividade e à saúde do pomar quanto à escassez destes elementos. A aplicação deve ser embasada, sempre, em critérios técnicos a partir de tais análises de cada gleba do pomar. Ao mesmo tempo, há ainda lacunas de conhecimento técnico sobre o efeito de micronutrientes na qualidade de frutos, especialmente avaliando as particularidades de interações dos micronutrientes com distintos cultivares e porta-enxertos. Além disso, teores críticos de micronutrientes no solo ainda não foram estabelecidos para as cultivares e porta-enxertos cultivados no Sul do Brasil, o que representam oportunidades de pesquisa futuras.

## 9. Referências Bibliográficas

ALI, A.; PERVEEN, S.; MUHAMMAD SHAH, S.; ZHANG, Z.; WAHID, F.; SHAH, M.; BIBI, S.; MAJID, A. Effect of foliar application of micronutrients on fruit quality of peach. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, 1258-1264, 2014. doi: 10.4236/ajps.2014.59138.

ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. 2<sup>nd</sup>. International Zinc Association (IZA) and International Fertilizer Industry Association (IFA), 2008. Disponível em: <https://www.fertilizer.org/resource/zinc-in-soils-and-crop-nutrition/>. Acesso em 21 mar. 2026

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, 173(4), 677–702, 2007.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. **Function of nutrients: micronutrients**. In: MARSCHNER, P. (ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3<sup>ed</sup>. London: Academic Press, 2012. p. 191-248.

BROWN, P. H.; BELLALOU, N.; WIMMER, M. A.; BASSIL, J.; RUIZ, H.; HU, H. PFEFFER, F.; DANNEL, V.; RÖMHELD. Boron in plant biology. **Plant Biology**, v. 4, n. 2, 205–223, 2002.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição e crescimento**. In: EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Planta, 2006. p. 251-286.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 185-268, 2002.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA, 2005. 186 p.

GUERINOT, M. L.; YI, Y. Iron: nutritious, noxious, and not readily available. **Plant Physiology**, v. 104, n. 3, 815–820, 1994.

GUPTA, U.; SOLANKI, H. Impact of boron deficiency on plant growth. **International Journal of Bioassays**, v. 2, n. 7, p. 1048-1050, 2013.

Instituto do Meio Ambiente (IMA). Instrução Normativa n° 11, de 17 de abril de 2025, de Santa Catarina. Disponível em: [https://in.ima.sc.gov.br/instrucaoNormativa/downloadPDF/11#:~:text=%20IN.%20\\*%20%2D1.](https://in.ima.sc.gov.br/instrucaoNormativa/downloadPDF/11#:~:text=%20IN.%20*%20%2D1.) Acesso em 18 jan. 2026

- LEONEL, S.; SOUZA, M. E. D.; TECCHIO, M. A.; SEGANTINI, D. M. Leaf nutritional levels in peach and nectarine grown in subtropical climate. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, 752–761, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500105>.
- LINDSAY, W. L. Iron in soils and clay minerals. **Soil Science Society of America Journal**, v. 36, n. 6, 573–579, 1972.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3<sup>ed</sup>. London: Academic Press, 2012.
- MILLALEO, R.; REYES-DÍAZ, M.; IVANOV, A. G.; MORA, M. L.; ALBERDI, M. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, n. 4, p. 476-494, 2010.
- MOREIRA, A.; MORAES, V. H. DE F.; CASTRO, C. de. Fontes e doses de boro em porta-enxertos de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, n.8, 2006.
- SHAHBAZ, M.; RAVET, K.; PEERS, G.; PILON, M. Prioritization of copper for the use in photosynthetic electron transport in developing leaves of hybrid poplar. **Frontiers in Plant Science**. v.6, 7, 2015. doi: 10.3389/fpls.2015.00407.
- SILVA, E.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; JÚNIOR, P. S. R. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 392-397, 2009.
- SOUZA, B. M. S.; PIO, R.; COELHO, V. A. T.; SILVA, I. P. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes, boro e ferro e composição mineral de amoreira-preta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 241-248, 2015.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6<sup>ed</sup>. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- VALENTINUZZI, F.; PII, Y.; VIGANI, G.; LEHMANN, M.; CESCO, S.; MIMMO, T. Phosphorus and iron deficiencies induce a metabolic reprogramming and affect the exudation traits of the woody plant *Fragaria x Ananassa*. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 20, p. 6483-6495, 2015.
- XU, E.; LIU, Y.; GU, D.; ZHAN, X.; LI, J.; ZHOU, K.; ZHANG, P.; ZOU, Y. Molecular mechanisms of plant responses to copper: From deficiency to excess. **International Journal of Molecular Science**. v.25, 13:6993, 2024. doi: 10.3390/ijms25136993.

## Capítulo 11

# Uso de plantas de cobertura em pomares de pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch)

George Wellington Bastos de Melo<sup>(1)</sup>  
Vinicius Ide Franzini<sup>(2)</sup>  
Guilherme Wilbert Ferreira<sup>(3)</sup>  
Lucas Dupont Giumbelli<sup>(4)</sup>  
Michelle Barbosa Teixeira-Loss<sup>(5)</sup>  
Arcângelo Loss<sup>(6)</sup>

### Resumo

O uso de plantas de cobertura em pomares de pessegueiro tem se mostrado uma estratégia fundamental para o manejo sustentável e a resiliência dos agroecossistemas, contribuindo para a melhoria da fertilidade, estrutura e biodiversidade do solo. Este capítulo tem como objetivo integrar fundamentos teóricos e evidências práticas sobre os efeitos das plantas de cobertura nos componentes do sistema solo-planta-atmosfera, destacando espécies e manejos

---

<sup>(1)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho. Rua Livramento, 515, Juventude. Bento Gonçalves, RS. E-mail: wellington.melo@embrapa.br

<sup>(2)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho. Rua Livramento, 515, Juventude. Bento Gonçalves, RS. Email: vinicius.franzini@embrapa.br

<sup>(3)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agroecossistemas e Pos-doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, Florianópolis, SC. Email: guilherme.wilbert.ferreira@gmail.com

<sup>(4)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agroecossistemas e Pos-doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, Florianópolis, SC. Email: lucas.dg@ufsc.br

<sup>(5)</sup> Engenheira Agrônoma. Mestra em Fitotecnia e Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, Florianópolis, SC. Email: michellebte2@gmail.com

<sup>(6)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia-Ciência do Solo e Professor no Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, Florianópolis, SC. Email: arcangelo.loss@ufsc.br

mais adequados. Os resultados mostram que as coberturas vegetais reduzem a compactação e a erosão, aumentam a infiltração e retenção de água, promovem a ciclagem de nutrientes e a fixação biológica de nitrogênio, elevando o teor de carbono orgânico do solo. Além disso, refletem em ganhos produtivos expressivos — com aumento de produtividade e no número de frutos por árvore —, comprovando que, quando bem manejadas, as plantas de cobertura elevam a produtividade e sustentabilidade dos pomares de pessegueiro. Diante das mudanças climáticas, as plantas de cobertura tornam-se estratégia essencial para a sustentabilidade e resiliência dos pomares.

**Palavras-chave:** Pêssego, biodiversidade, leguminosas, gramíneas, resiliência.

## 1. Introdução

A cultura do pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch) no Brasil apresenta características produtivas consolidadas, com dados que evidenciam sua relevância econômica no setor frutícola nacional. A área total cultivada abrange por volta de 15, 4 mil hectares distribuídos em 4.735 estabelecimentos produtivos, resultando em uma média de 2,5 hectares por propriedade, o que indica predominância de pequenas e médias explorações agrícolas (IBGE, 2024). O parque produtivo nacional conta com aproximadamente 9,6 milhões de plantas em idade produtiva, gerando uma densidade média de plantio de 613 plantas por hectare. A produção anual alcança aproximadamente 190 mil toneladas de frutos, estabelecendo um rendimento médio de 12,4 toneladas por hectare e produtividade individual de 20,9 kg por planta. O valor bruto da produção atinge por volta de R\$ 736 milhões, conferindo um preço médio de R\$ 3.722,00 por tonelada na porteira, demonstrando a viabilidade econômica da cultura e sua contribuição significativa para a renda dos produtores brasileiros (IBGE, 2024). Vale ressaltar que a maior concentração da produção de pêssegos brasileira se encontra na região Sul do país, sendo os três estados responsáveis por aproximadamente 74% da oferta nacional (Protas & Madail, 2003; Madail, 2021).

Do ponto de vista nutricional, o pêssego constitui fonte importante de vitaminas A e C, compostos fenólicos, carotenóides e fibras dietéticas, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e nutricional da população (Bellucci, 2023; Carmo et al., 2022). Os compostos bioativos presentes nos frutos, incluindo antocianinas e ácidos fenólicos, têm demonstrado propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias relevantes para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis. Contudo, apesar desses benefícios nutricionais e da consolidação econômica da cultura, a fruticultura moderna enfrenta desafios crescentes relacionados às mudanças climáticas (Leonel et al., 2025), degradação dos recursos naturais (Torres et al., 2018; Abad et al., 2021; Abasi et al., 2025) e demandas por sistemas produtivos mais sustentáveis (Visconti et al., 2025). As décadas de sistemas de produção com alto uso de insumos, focados exclusivamente na produtividade, levaram ao empobrecimento dos solos com baixo teor de matéria orgânica, reduzida atividade microbiana, capacidade diminuída de reciclagem de nutrientes, infiltração deficiente de água e erosão aumentada (Fontão de Lima et al., 2023a). Sob essas condições, a saúde das plantas fica comprometida, tornando-se mais suscetíveis a estresses e requerendo mais trabalho e insumos, incluindo aplicações frequentes de pesticidas, comprometendo a sustentabilidade (Neri et al., 2022).

Neste cenário, o manejo sustentável do solo em pomares de pessegueiro representa um dos pilares fundamentais para a viabilidade econômica e ambiental da fruticultura moderna. Destaca-se que dentro das estimativas de produção agrícola, a fruticultura representa, desde o ano de 2019, valores superiores a 1 bilhão de reais somente na comercialização via exportação (MAPA, 2025). Estes valores expressivos ajudam a perceber o quão importante são as atividades que têm como um dos principais componentes o solo. Dessa forma, a adoção de práticas que promovam a conservação e melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é essencial para garantir a produtividade das plantas e a

qualidade dos frutos ao longo dos anos (Redin et al., 2016; Teixeira-Loss et al., 2025).

Neste contexto, as plantas de cobertura emergem como uma ferramenta técnica de grande relevância científica e prática, oferecendo múltiplos benefícios que vão desde a proteção superficial do solo até a ciclagem de nutrientes (Jiang et al., 2021). O avanço das pesquisas na última década tem demonstrado que essas práticas representam uma abordagem integrada para enfrentar simultaneamente questões de produtividade, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica. Os objetivos do uso de plantas de cobertura em pomares de pessegueiro são multifacetados e estratégicos para o sistema produtivo. Primeiramente, visam melhorar a estrutura física do solo através da formação de agregados estáveis e aumento da porosidade, reduzindo a compactação e facilitando a infiltração e retenção de água. Simultaneamente, buscam aprimorar a fertilidade do solo por meio da fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas e pela adição de matéria orgânica durante a decomposição dos resíduos vegetais.

O controle de plantas espontâneas constitui outro objetivo central, uma vez que a competição estabelecida pelas plantas de cobertura suprime o crescimento de espécies indesejáveis, reduzindo a necessidade de herbicidas. Adicionalmente, objetivam a conservação do solo contra processos erosivos, especialmente relevantes em terrenos inclinados, e a promoção da biodiversidade através do fornecimento de habitat para insetos benéficos e outros organismos.

A relevância para a cultura do pessegueiro é particularmente significativa devido às características específicas desta frutífera. O pessegueiro apresenta sistema radicular relativamente superficial, tornando-o sensível à competição por água e nutrientes nas camadas superiores do solo (Sun et al., 2022). Esta característica torna fundamental o manejo adequado do solo do pomar para evitar competição excessiva, especialmente em pomares jovens (Tworkoski & Glenn, 2001). Simultaneamente, a cultura beneficia-se enormemente da melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo proporcionadas pelas plantas de

cobertura, uma vez que estas favorecem o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes (Welker & Glenn, 1988; Loss et al., 2024; Teixeira-Loss et al., 2025).

A cultura do pessegueiro no Brasil tem demonstrado respostas positivas ao uso de plantas de cobertura, com incrementos significativos no desenvolvimento vegetativo e na produtividade. Pesquisas conduzidas em sistemas de Produção Integrada de Pêssego (PIP) evidenciaram que a associação de diferentes espécies de plantas de cobertura pode proporcionar benefícios superiores ao cultivo de espécies isoladas (Rufato et al., 2006a).

Entretanto, persistem lacunas importantes no conhecimento científico, particularmente quanto à otimização de consórcios específicos para diferentes condições edafoclimáticas, quantificação precisa dos benefícios econômicos a longo prazo e desenvolvimento de modelos preditivos para seleção de espécies mais adequadas.

Assim, este capítulo apresenta uma análise mais abrangente sobre o uso de plantas de cobertura em pomares de pessegueiro, integrando conhecimentos teóricos fundamentais com evidências práticas recentes. São abordados os princípios científicos que fundamentam essa prática, as principais espécies utilizadas e suas características, métodos de estabelecimento e manejo, além dos impactos mensuráveis nos componentes do sistema solo-planta-atmosfera. O capítulo segue uma abordagem metodológica que parte dos fundamentos teóricos para as aplicações práticas, culminando com perspectivas futuras e recomendações técnicas baseadas em evidências científicas consolidadas.

## **2. Conceitos e benefícios das plantas de cobertura**

As plantas de cobertura desempenham um papel essencial na melhoria da saúde e qualidade do solo, promovendo a sustentabilidade agrícola. Elas atuam principalmente através da melhoria da fertilidade do solo, prevenção da erosão e proteção do solo, além de aumentar a disponibilidade e qualidade de nutrientes e

água (Francaviglia et al., 2023; Quintarelli et al., 2022; Comin et al., 2024). A incorporação dessas práticas não só aumenta a biodiversidade microbiana no solo, mas também contribui para benefícios agronômicos e ambientais significativos, como a mitigação das mudanças climáticas e supressão de ervas daninhas (Francaviglia et al., 2023; Sharma et al., 2018). Diferentemente das culturas econômicas, as plantas de cobertura são cultivadas entre as fileiras das plantas e, em alguns casos, também na linha de plantio, sendo posteriormente incorporadas ao solo ou deixadas como cobertura morta na superfície.

A definição técnica de plantas de cobertura abrange qualquer cultura vegetal estabelecida com a finalidade de cobrir e proteger o solo durante períodos em que este estaria exposto. Suas funções principais incluem: proteção física contra erosão hídrica e eólica; melhoria da estrutura do solo através da ação do sistema radicular; adição de matéria orgânica via decomposição de resíduos; fixação biológica de nitrogênio no caso das leguminosas; supressão de plantas daninhas por competição e alelopatia; e promoção de biodiversidade no agroecossistema.

Entre os principais benefícios das plantas de cobertura, podem-se destacar: a) melhoria da biodiversidade e saúde do solo (Sharma et al., 2018; Francaviglia et al., 2023; Zhang et al., 2025); b) controle da erosão solo e conservação da água (Blanco-Canqui et al., 2015; Sharma et al., 2018; Yousefi et al., 2024); c) melhoria das condições químicas e físicas do solo (Lu et al., 2000; Hallama et al., 2018); d) supressão de ervas daninhas (Rivière et al., 2022) e, e) mitigação das mudanças climáticas (Joshi et al., 2023; Rivière et al., 2022).

a) O aumento da biodiversidade e do controle biológico, consequentemente, da saúde do solo, representam benefícios ecossistêmicos importantes das plantas de cobertura. A diversificação de espécies vegetais no pomar cria nichos ecológicos que suportam populações de insetos benéficos, incluindo predadores, parasitoides e polinizadores (Martins de Almeida et al., 2019). Plantas de cobertura floríferas, como trevo, ervilhaca e trigo-mourisco,

fornece néctar e pólen que sustentam populações de inimigos naturais durante períodos em que as plantas frutíferas não estão em floração. Embora não haja uma única porcentagem, as evidências indicam que o aumento da biodiversidade e do controle biológico natural por meio de adubos verdes e rotação de culturas resulta em uma redução substancial da pressão de pragas e doenças, tanto pela supressão direta de patógenos específicos quanto pelo fortalecimento do agroecossistema e da saúde das plantas e do solo. Essa abordagem contribui para sistemas agrícolas mais complexos e resilientes, com menor dependência de insumos químicos e maior sustentabilidade (Fontão de Lima et al., 2023a, 2023b). A atividade microbiana do solo também é significativamente estimulada pelas plantas de cobertura, com aumentos de 20-60% na biomassa microbiana e atividade enzimática (Bruno et al., 2025). Os sistemas radiculares das plantas de cobertura sustentam diversas comunidades microbianas que são fundamentais para a saúde do solo (Zhang et al., 2025). As plantas de cobertura são essenciais para promover e sustentar as associações micorrízicas no solo, o que, por sua vez, resulta em melhor absorção de nutrientes (especialmente P), maior tolerância a estresses (como déficit hídrico) e um crescimento mais vigoroso das plantas, com a maioria das espécies avaliadas apresentando altas taxas de colonização micorrízica, frequentemente acima de 50%, e em alguns casos, alcançando mais de 70% (Fontão de Lima et al., 2023b).

b) A redução da erosão e conservação da umidade são benefícios intrinsecamente relacionados ao estabelecimento de plantas de cobertura. A proteção contra erosão hídrica ocorre através da interceptação das gotas de chuva pela parte aérea das plantas, reduzindo o impacto direto sobre a superfície do solo (Sharma et al., 2018). O sistema radicular atua ancorando as partículas do solo e aumentando sua resistência ao arraste superficial. Em solos com relevo declivoso, as plantas de cobertura podem reduzir as perdas de solo por erosão em 70-95% comparativamente a áreas descobertas (Meyer et al., 1999). A conservação da umidade é favorecida pela redução da velocidade do vento na superfície do solo e

pela diminuição da temperatura superficial proporcionada pelo sombreamento (Meng et al., 2018). Estudos demonstram que a temperatura do solo sob plantas de cobertura pode ser 2-5°C menor durante o dia e 1-3°C maior durante a noite comparativamente a solos descobertos (Yunas et al., 2024). A capacidade de retenção de água no solo é significativamente melhorada pelas plantas de cobertura através de múltiplos mecanismos. A maior porosidade resultante da ação radicular aumenta a capacidade de armazenamento de água disponível às plantas (Jiang et al., 2021). Simultaneamente, a cobertura superficial proporcionada pelos resíduos vegetais reduz a evaporação direta da água do solo, conservando a umidade por períodos mais prolongados (Losciale et al., 2020). Estudos em pomares de pessegueiro indicam que sistemas com plantas de cobertura podem conservar 20-30% mais água no perfil do solo durante períodos de estiagem comparativamente a sistemas de cultivo convencional (Jiang et al., 2021). Esta melhoria na disponibilidade hídrica é particularmente valiosa em regiões com distribuição irregular de chuvas ou limitações de irrigação.

c) A melhoria da estrutura e fertilidade do solo representa um dos benefícios mais significativos das plantas de cobertura em pomares de pessegueiro. O sistema radicular diversificado das plantas de cobertura promove a formação de agregados estáveis através da exsudação de compostos orgânicos que atuam como agentes cimentantes entre as partículas do solo (Yu et al., 2016). Este processo resulta em aumento da porosidade total e melhoria da distribuição dos poros, facilitando a infiltração e movimento da água no perfil do solo (Parveaud et al., 2025). Pesquisas demonstram que plantas de cobertura podem aumentar a porosidade total em 15-25% e reduzir a densidade do solo em 8-15% comparativamente a sistemas sem cobertura (Ramos et al., 2022). A estabilidade de agregados pode ser incrementada em até 40% com o uso contínuo de plantas de cobertura (Ramos et al., 2022). A fixação biológica de N pelas leguminosas constitui um dos benefícios mais economicamente atrativos das plantas de cobertura (Wang et al., 2018). A quantidade de N fixado varia significativamente

entre espécies e condições ambientais. Trevo branco pode fixar 60-150 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, enquanto ervilhaca peluda pode contribuir com 90-200 kg N ha<sup>-1</sup> (Fontão de Lima et al., 2023b). Alfafa, quando estabelecida em corredores de pomares, pode produzir até 50 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Thomsen et al., 2016). Estudos com marcação isotópica (<sup>15</sup>N) demonstram que 25-40% do nitrogênio fixado pelas plantas de cobertura é transferido para as plantas frutíferas durante os dois primeiros anos após a dessecação (Tassinari et al., 2021). Esta contribuição pode suprir parcial ou totalmente as necessidades nitrogenadas dos pomares, que tipicamente variam entre 25-75 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Scavo et al., 2020; Yang et al., 2019; Tursun et al., 2018).

d) O controle de plantas daninhas através de plantas de cobertura ocorre por diversos mecanismos complementares. A competição direta por recursos (luz, água, nutrientes e espaço) é o mecanismo mais evidente, especialmente quando as plantas de cobertura estabelecem cobertura densa do solo (Brewer et al., 2025). Plantas de cobertura vigorosas podem reduzir a biomassa de plantas daninhas em 58-99%, dependendo da espécie utilizada e das condições de estabelecimento (Tworkoski e Glenn, 2001). A alelopatia representa outro mecanismo importante, especialmente em espécies como nabo forrageiro e trigo-mourisco, que liberam compostos químicos capazes de inibir a germinação e crescimento de plantas daninhas (Iqbal et al., 2002). O efeito físico da cobertura morta, formada após a terminação das plantas de cobertura, cria barreira física que impede a emergência de plantas daninhas fotoblásticas. Este efeito pode persistir por 3-6 meses após completarem seu ciclo de crescimento, proporcionando controle prolongado de plantas daninhas.

e) As múltiplas funções das plantas de cobertura tornam-nas uma ferramenta versátil e eficaz para o manejo sustentável de pomares, assim como para mitigação das mudanças climáticas. As plantas de cobertura sequestram carbono da atmosfera, assim reduzindo as emissões de gases de efeito estufa dos solos. Isso é particularmente evidente por meio do aumento do armazenamento de carbono

orgânico do solo (Joshi et al., 2023; Rivière et al., 2022). Em um experimento em vinhedos na Austrália, Marks et al. (2022) avaliaram o efeito das plantas de cobertura após cinco anos de cultivo sobre os estoques de carbono orgânico do solo (COS). Os tratamentos avaliados foram: consórcio de *Lolium rigidum* (azevém, gramínea) + *Medicago polymorpha* (trevo-preto, leguminosa); *Festuca* sp (festuca, gramínea) + *Trifolium fragiferum* (trevo-morango, leguminosa), cobertura morta de *Triticum secale* (triticale, gramínea) e um tratamento controle (com uso de herbicidas para controle das espontâneas). Os estoques de COS foram 23% maiores nos tratamentos com consórcio de plantas de cobertura em relação ao tratamento com herbicidas, e foram superiores ao tratamento com cobertura morta. As taxas de renovação de COS diferiram entre os tratamentos, evidenciado a importância do sistema radicular ativo das plantas de cobertura, adicionando carbono via rizodeposição e via adição da biomassa aérea.

### **3. Os critérios para escolha das espécies de plantas de cobertura devem considerar múltiplos fatores interrelacionados**

A escolha adequada das coberturas deve levar em conta o ambiente local, características das espécies vegetais, e os objetivos agrônômicos e ambientais desejados. Um dos principais fatores a serem considerados é a adaptabilidade das espécies de cobertura às condições climáticas locais e ao tipo de solo. Estudos mostram que a escolha deve ser baseada na habilidade das plantas para prosperar em ambientes específicos, além de suas capacidades de contribuir para a melhoria da saúde do solo e da sustentabilidade do sistema agrícola em geral (Bodner et al., 2012). A dinâmica de crescimento e o padrão de raízes das espécies de cobertura são características importantes a serem avaliadas, pois influenciam na eficácia contra a erosão do solo e na melhoria da estrutura do solo (Bodner et al., 2010).

Além disso, os objetivos específicos da incorporação das plantas de cobertura também guiarão a seleção das espécies. Por exemplo, para maximizar a biomassa e o controle de ervas daninhas, as coberturas podem ser selecionadas

com base em sua capacidade de produção de biomassa e em características inerentes de supressão de ervas daninhas (Osipitan et al., 2018). Da mesma forma, vantagens como o controle de ervas daninhas e a redução do escoamento e da lixiviação de nitrogênio também devem ser considerados (Yousefi et al., 2024).

Além das características das próprias plantas, práticas de manejo, como a escolha da época de plantio e de roçagem/dessecação, a interação com a cultura principal, bem como as práticas de manejo dos resíduos vegetais, são cruciais para maximizar os benefícios das plantas de cobertura (Yousefi et al., 2024). Métodos de roçagem/dessecação diferentes podem impactar na umidade do solo e na disponibilidade de nutrientes, influenciando diretamente a produtividade da cultura seguinte (Wortman et al., 2012).

Por fim, o uso de misturas diversificadas (consórcios) de espécies de cobertura pode proporcionar uma produtividade mais estável do que o uso de espécies individuais, especialmente em regiões semiáridas (Khan & McVay, 2019). No entanto, a diversidade da mistura deve ser planejada de forma a não aumentar significativamente as emissões de gases de efeito estufa, como o óxido nitroso (Olofsson & Ernfors, 2022). Por isso, a escolha das espécies de plantas de cobertura deve ser um processo cuidadoso e informado, que considera múltiplos impactos ambientais e agronômicos.

#### **4. Manejo e espécies mais utilizados em pomares de pessegueiro**

O uso das plantas de cobertura em pomares de pêsego tem efeito não só sobre os atributos do solo, como também sobre características vegetativas e reprodutivas dessas frutíferas (Ciacci et al., 2025). A seguir são apresentadas algumas espécies de plantas de coberturas que podem ser utilizadas em pomares, com destaque para as leguminosas e as gramíneas.

#### **4.1 Leguminosas**

As leguminosas promovem comunidades microbianas benéficas que suprimem patógenos transmitidos pelo solo e fortalecem as funções ecossistêmicas (Vukicevich et al., 2016). Além disso, sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) torna este nutriente essencial disponível para as plantas arbóreas, melhorando naturalmente a fertilidade do solo. A incorporação de matéria orgânica rica em nitrogênio também favorece o desenvolvimento de artrópodes benéficos para o controle biológico de pragas (Bugg & Waddington, 1994). Esses benefícios combinados resultam em pomares mais produtivos e ecologicamente equilibrados.

Em pomares localizados em terrenos declivosos, particularmente em regiões mediterrâneas, as leguminosas perenes desempenham papel crucial na prevenção da erosão do solo. A biomassa radicular desenvolvida por essas plantas, juntamente com a cobertura superficial, reduz significativamente as perdas de carbono orgânico e solo, preservando a fertilidade e integridade estrutural do solo (Repullo-Ruibérriz de Torres et al., 2018). Apesar dos benefícios substanciais, o uso de leguminosas perenes como plantas de cobertura apresenta desafios específicos que requerem manejo cuidadoso e estratégico. O principal desafio consiste em equilibrar a competição potencial por água e nutrientes, especialmente em pomares jovens onde as plantas ainda estão em processo de estabelecimento. A seleção adequada de espécies, considerando as características específicas de cada local e sistema produtivo, é fundamental para o sucesso da implementação. O manejo do crescimento das plantas de cobertura através de práticas como roçada controlada e fertilização seletiva, bem como a consideração das variações sazonais, são medidas essenciais para minimizar impactos negativos (Bugg & Waddington, 1994). Para maximizar os benefícios e minimizar a competição com as plantas do pomar, as práticas de manejo devem ser adaptadas às condições individuais de cada sistema produtivo (Bugg et al., 1991; Torres et al., 2018). O sucesso dessa estratégia depende do planejamento integrado e do monitoramento contínuo do agroecossistema.

**a) Trevo branco (*Trifolium repens*)** - Planta perene com hábito rasteiro (altura entre 10 e 30 cm), caracterizada por sistema radicular superficial e eficiente na nodulação para fixação biológica de nitrogênio (FBN). Apresenta folhas trifolioladas típicas e inflorescências brancas dispostas em capítulos globosos. Indicado para uso em sistemas de cultivo perene, como pomares, em função de seu baixo porte e baixa competição com as espécies frutíferas. Capaz de fixar entre 80 e 150 kg de nitrogênio por hectare por ano, contribui para a redução da demanda por fertilizantes nitrogenados sintéticos (Caradus et al., 1995; Høgh-Jensen & Schjoerring, 1994). Exibe resistência ao pisoteio, mantendo cobertura vegetal contínua que reduz a erosão, controla plantas daninhas e atrai polinizadores, contribui para o aumento da matéria orgânica, infiltração de água, porosidade e estabilidade do solo, beneficiando a produtividade e protegendo contra erosão (Carlsen et al., 2012; Hill et al., 2021). Por outro lado, o trevo branco pode competir com plantas jovens por recursos, prejudicando o desenvolvimento inicial do pomar. É necessário um manejo adequado, como corte regular e controle da distância entre plantas, para minimizar esses efeitos (Sanders et al., 2017). Além disso, os metabólitos bioativos produzidos pelo trevo, como compostos químicos liberados pelas raízes ou pela decomposição das plantas, podem impactar negativamente o solo e outras plantas ao redor. Isso acontece porque esses metabólitos podem causar a chamada fadiga do solo, que é a perda de produtividade causada pelo acúmulo de substâncias que dificultam o desenvolvimento das culturas subsequentes. Além disso, esses compostos podem exercer efeitos alelopáticos, ou seja, inibir o crescimento de outras plantas por meio de interações químicas. Por isso, é importante ter atenção ao cultivo contínuo ou prolongado de trevo em pomares, pois o uso repetido pode prejudicar a saúde do solo e a diversidade vegetal, demandando manejo adequado para evitar esses problemas (Carlsen et al., 2012).

**b) Trevo vermelho (*Trifolium pratense*)** - Planta bienal com porte variando entre 30 e 60 cm e sistema radicular pivotante profundo, que contribui significativamente para a estruturação edáfica. Floresce em capítulos ovoides, apresentando flores de coloração roxo-avermelhada. Seu ciclo de desenvolvimento ocorre entre 18 e 24 meses, destacando-se pela alta capacidade de FBN (100-200 kg N/ha/ano) e produção considerável de biomassa, beneficiando a fertilidade do solo. Adequado para inserção periódica em manejo rotacional nas entrelinhas de pomares. No entanto, há considerações de manejo a serem abordadas, especialmente no que diz respeito à competição potencial por água e nutrientes com plantas frutíferas durante seus estágios iniciais de desenvolvimento.

**c) Cornichão (*Lotus corniculatus*)** - Planta perene com altura entre 20 e 40 cm, notavelmente adaptada a solos ácidos (pH 5,0-6,5) e condições de baixa disponibilidade hídrica. Apresenta um sistema radicular profundo e flores amarelas reunidas em inflorescências umbeliformes. Altamente recomendada para ambientes edáficos pobres e ácidos, comuns em áreas frutíferas, sendo eficiente na FBN mesmo sob condições adversas. Sua persistência de até oito anos reduz custos de replantio e favorece a fauna benéfica devido à sua alta palatabilidade.

**d) Ervilhaca (*Vicia sativa*)** - Planta anual de inverno com altura variando entre 30 e 80 cm, exibindo hábito trepador provido de gavinhas e flores de cor violeta. Possui ciclo curto, entre 120 e 150 dias, com alta resistência a baixas temperaturas. Recomendada para uso como cobertura durante o período de dormência das frutíferas, especialmente pessegueiros, com capacidade de fixar entre 60 e 120 kg N/ha, protegendo o solo contra erosão hídrica e permitindo manejo facilitado e incorporação antes da floração das espécies arbóreas.

A ervilhaca é amplamente reconhecida por seus benefícios como planta de cobertura em configurações agrícolas de inverno. Ela desempenha um papel significativo na melhoria da saúde e fertilidade do solo devido à sua capacidade de

FBN. É particularmente adequado para consórcio e integração em rotações de culturas, melhorando a ciclagem de nutrientes do solo e o teor de matéria orgânica (Brennan et al., 2009; Ramírez-Parra e De la Rosa, 2023). Contribui para o sequestro de carbono pelo solo e melhora o ciclo do fósforo, o que pode beneficiar as culturas subsequentes (Bayer et al., 2009; Pavinato et al., 2017). Além disso, seu uso como planta de cobertura auxilia na supressão de ervas daninhas, contribuindo para a menor biomassa de plantas daninhas devido à competição por recursos (Brennan et al., 2009). A integração de ervilhaca em rotações de cultivo e pousio pode melhorar significativamente as funções do ecossistema do solo, promovendo a ciclagem de energia e nutrientes, melhorando a saúde do solo (Garba et al., 2024).

**e) Crotalária (*Crotalaria juncea*)** - Espécie anual de verão, com altura entre 1,5 e 3,0 metros, caule ereto e flores amarelas vistosas. Seu ciclo de desenvolvimento varia entre 120 e 180 dias, sendo resistente ao calor intenso. Dentre suas principais características agrônômicas, destaca-se a elevada produção de biomassa seca, variando de 8 a 15 t ha<sup>-1</sup>, e a expressiva capacidade de FBN, que pode atingir entre 130 e 200 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Além disso, a espécie apresenta propriedades nematicidas naturais, com potencial de supressão de fitonematóides. O sistema radicular é predominantemente pivotante e profundamente explorador, o que favorece a descompactação e a melhoria da estrutura de solos adensados. No entanto, seu manejo requer atenção quanto à época de dessecação ou roçada, de forma a evitar competição por luz com culturas principais.

A utilização da crotalaria em sistemas agrícolas sustentáveis é amplamente recomendada devido aos seus múltiplos benefícios ao solo e ao meio ambiente. A incorporação da biomassa como adubo verde tem se mostrado eficaz no aumento dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio disponíveis no solo, contribuindo diretamente para a fertilidade e o equilíbrio nutricional dos sistemas de produção. O desenvolvimento radicular robusto também promove ganhos significativos na

infiltração de água e na retenção de umidade, aspectos fundamentais em regiões sujeitas a déficit hídrico ou com solos de baixa qualidade estrutural.

A cobertura proporcionada pela biomassa da crotalária protege o solo contra o impacto direto da chuva, diminuindo o risco de erosão e promovendo a manutenção da integridade física e biológica do solo. A ciclagem eficiente de nutrientes, associada à decomposição da biomassa, garante o suprimento parcial das demandas nutricionais das culturas subsequentes, configurando-se como uma alternativa viável à adubação nitrogenada sintética. A soma desses atributos reforça o papel da *Crotalaria juncea* como uma ferramenta estratégica no manejo integrado de pragas, na conservação do solo e na promoção da sustentabilidade dos agroecossistemas (Fischler e Wortmann, 1999).

**f) Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*)** - Planta anual vigorosa, altura entre 60 e 100 cm, com hábito semi-trepador, adaptada a solos de baixa fertilidade e regiões tropicais e subtropicais. Caracteriza-se por sementes grandes e roxas. Promove rápido estabelecimento e moderada FBN (40-80 kg N/ha), sendo eficaz na supressão de plantas invasoras devido à alelopatia e competição. O feijão de porco também é reconhecido por seu papel na fitorremediação. Pode ser usado na biorremediação de solos contaminados com substâncias como sulfentrazone, um herbicida que pode impactar negativamente os plantios subsequentes (Madalão et al., 2017). Além disso, a canavanina é um aminoácido não proteico que desempenha vários papéis bioquímicos na planta, inclusive atuando como um análogo da arginina. Essa via bioquímica pode contribuir para os mecanismos de defesa e adaptabilidade da planta em diferentes ambientes do solo.

**g) Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*)** - Trepadeira anual de crescimento vigoroso (até 6 metros), folhas grandes trifolioladas e flores de coloração roxo-escuro. Apresenta vagens com pelos urticantes, com ciclo vegetativo de 180 a 240 dias. Garante cobertura vegetal densa e eficaz controle de plantas daninhas. FBN

considerável (100-180 kg N/ha/ano), complementada por atividade alelopática e nematicida. Manejo cuidadoso é necessário para evitar competição aérea com frutíferas. Sua aplicabilidade em pomares de pêsego pode ser significativa, pois compartilha muitos benefícios com outras plantas de cobertura usadas em pomares, como aumentar a fertilidade do solo e apoiar um ecossistema de solo mais biologicamente diverso (Webber et al., 2022).

O uso de mucuna preta em pomares de pessegueiro oferece várias vantagens. Aumenta a matéria orgânica do solo e aumenta o armazenamento de carbono no solo, o que pode ser particularmente benéfico em sistemas agrícolas de plantio direto, onde a retenção de carbono e a melhoria da qualidade do solo são prioridades (Bayer et al., 2009). Além disso, como leguminosa, enriquece o solo com nitrogênio, contribuindo para a dinâmica de nutrientes do pomar, o que pode reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos (Mia et al., 2020). No entanto, a implementação da mucuna preta como planta de cobertura requer um manejo cuidadoso. Seu hábito de crescimento vigoroso e folhagem densa podem levar à competição com pessegueiros jovens por luz solar, água e nutrientes se não forem manejados adequadamente. Para evitar isso, o corte estratégico e o momento do plantio e do término são práticas críticas de manejo. Manter um equilíbrio no manejo do dossel é crucial para garantir que a cultura não se torne um obstáculo para as plantas frutíferas primárias (Neill et al., 2001).

**h) Lab-lab (*Lablab purpureus*)** - Planta anual de verão com hábito trepador (1-3 metros), exibindo flores vistosas de coloração branca ou roxa e vagens achatadas. Notável tolerância a condições de seca extrema e temperaturas elevadas. Excelente para ambientes com restrição hídrica, fixando entre 80 e 150 kg N/ha e atraindo polinizadores diversos, além de fornecer forragem de qualidade à fauna auxiliar. Esta planta é bem adaptada a uma variedade de condições ambientais e oferece múltiplos benefícios agrícolas e ecológicos. Além de sua capacidade de FBN, que melhora a fertilidade do solo e reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados

químicos (Pimentel et al., 2015), também é eficaz na melhoria da estrutura do solo em sistemas de rotação de culturas. Estudos mostram que ele pode aumentar a porosidade do solo e melhorar a infiltração da água, potencialmente reduzindo a compactação do solo e promovendo a saúde geral do solo (Pillai & McGarry, 1999).

Quanto ao estresse hídrico, o lablab tem demonstrado tolerância superior à seca em comparação com outras leguminosas, tornando-o uma escolha ideal em regiões onde a disponibilidade de água é limitada. Esse aspecto é crucial para culturas perenes como as plantas frutíferas, onde o manejo eficiente da água é fundamental (Robotham & Chapman, 2017). No entanto, é importante considerar que o manejo do lablab requer atenção especial devido ao seu hábito de crescimento vigoroso e trepador, que pode competir com as plantas frutíferas por recursos, como luz e nutrientes. Um manejo eficaz, que pode incluir a poda regular e a escolha cuidadosa de variedades não competidoras, é essencial para garantir que os benefícios do lablab superem os desafios potenciais (D'Souza & Devaraj, 2010).

**i) Amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*)** - Planta perene rasteira com altura entre 10 e 20 cm, propagação por estolões que enraízam nos nós e sistema radicular superficial, porém bem ramificado. Produz pequenas flores amarelas. Mantém cobertura permanente com mínima competição com as culturas frutíferas, fixando 60-100 kg N/ha/ano. Destaca-se pelo excelente controle de erosão e baixa exigência de manutenção após estabelecimento. É reconhecida como uma cobertura de solo eficaz em pomares, traz vários benefícios ao lado de certas considerações. Como uma planta leguminosa, aumenta a produção e a qualidade dos frutos devido ao aumento da umidade e fertilidade do solo (Li et al., 2023). O uso de *Arachis pintoi* contribui significativamente para a agricultura sustentável, melhorando a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes. Em particular, promove a biomassa microbiana do solo e aumenta as atividades enzimáticas,

facilitando a absorção de fósforo e melhorando o crescimento das plantas (de Medeiros et al., 2019).

Em termos de controle da erosão do solo, o manejo de coberturas do solo como *Arachis pintoi* é eficaz. Não apenas reduz a erosão superficial do solo, mas também ajuda a minimizar a perda de nutrientes associada à erosão (Tian et al., 2024). Além disso, podem melhorar os indicadores de saúde do solo, aumentando os estoques de carbono orgânico, proporcionando benefícios de longo prazo para a estrutura e fertilidade do solo.

A capacidade de *Arachis pintoi* de melhorar o ecossistema do pomar também é evidente em sua influência no controle de pragas. As plantas de cobertura aumentam a biodiversidade, sustentando populações maiores de predadores naturais e reduzindo a incidência de pragas de insetos por meio do aumento da predação e da provisão de abrigo (Altieri & Schmidt, 1985).

No entanto, existem algumas considerações. Embora *Arachis pintoi* aumente a retenção de umidade do solo, ele também requer monitoramento para evitar o estresse hídrico devido às suas diferentes demandas de água em comparação com outras plantas de cobertura (Walsh et al., 1996). Além disso, o aumento da infiltração do solo, embora benéfico para reduzir o escoamento superficial, pode representar riscos de contaminação das águas subterrâneas se não for gerenciado adequadamente (Tian et al., 2024). No geral, *Arachis pintoi* serve como um componente benéfico no manejo da cobertura do solo do pomar, promovendo o rendimento das culturas e a sustentabilidade ambiental. No entanto, sua implementação deve ser equilibrada com um monitoramento cuidadoso do uso da água e dos potenciais impactos ambientais.

**j) Guandu (*Cajanus cajan*)** – Essa leguminosa é um arbusto perene que pode crescer entre 1,5 à 3,5 metros de altura, e é conhecida por sua raiz principal profunda, que pode se estender até 3 metros. Este sistema radicular robusto é fundamental para quebrar as camadas compactadas do solo, melhorando assim a

drenagem do solo. Além disso, o guandu é altamente eficiente na FBN, contribuindo com entre 40 à 80 kg de nitrogênio por hectare anualmente. Essa capacidade de FBN não apenas enriquece a fertilidade do solo, mas também apoia práticas agrícolas sustentáveis, reduzindo a necessidade de fertilizantes artificiais (Gargi et al., 2022; Schuster et al., 2016).

A planta também exibe uma ampla gama de compostos bioativos com propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias. Esses compostos, incluindo flavonóides e ácidos fenólicos, são eficazes no combate ao estresse oxidativo, no controle da inflamação e até mesmo na demonstração de potenciais efeitos citotóxicos em linhagens de células cancerígenas (Gargi et al., 2022; Tungmunnithum & Hano, 2020). No geral, o guandu é uma planta multifacetada significativa para agricultura, nutrição e saúde sustentáveis, tornando-se uma cultura valiosa para melhorar a saúde do solo e oferecer benefícios dietéticos e medicinais.

#### **4.2 Gramíneas**

A integração de gramíneas como plantas de cobertura é particularmente vantajosa para melhorar a saúde do solo, otimizar a dinâmica dos nutrientes e apoiar práticas agrícolas sustentáveis. As gramíneas desempenham um papel vital no controle da erosão e na melhoria da infiltração de água devido aos seus sistemas radiculares robustos e extensos. O processo de penetração radicular no solo é frequentemente denominado "lavoura biológica", evidenciando o papel fundamental das gramíneas na estruturação física do solo (Haruna & Nkongolo, 2020). As diferentes espécies de gramíneas também sustentam a biodiversidade nos solos, melhorando as comunidades microbianas que são cruciais para a ciclagem de nutrientes e manutenção da saúde edáfica (Cheruiyot et al., 2020). O papel das gramíneas como plantas de cobertura vai além da proteção do solo, sendo um componente crucial nos sistemas agrícolas integrados para sustentabilidade e melhorias de produtividade.

**a) Azevém (*Lolium multiflorum*)** - Planta anual de inverno (30-80 cm), crescimento em touceiras e espigas terminais características. Germinação rápida (7-10 dias), ciclo de 150-180 dias. Rápido estabelecimento para cobertura imediata no inverno, protege contra erosão e melhora a agregação do solo. Essas características ajudam a prevenir a erosão do solo e melhora a estrutura do solo, melhorando sua qualidade para uso agrícola posterior. Um dos principais benefícios do azevém reside em sua capacidade de produzir uma quantidade significativa de matéria seca, variando de 4 a 8 toneladas por hectare (Zou et al., 2024). Embora o azevém seja benéfico, desafios como a resistência a herbicidas, particularmente ao glifosato, foram documentados. Essa resistência pode complicar as estratégias de manejo de ervas daninhas, como visto em regiões como Oregon e Chile, onde múltiplas resistências foram observadas (Bobadilla et al., 2021; Perez & Kogan, 2003).

**b) Aveia preta (*Avena strigosa*)** - Planta anual de inverno (80-120 cm), colmos eretos, panículas pendentes, resistente a geadas intensas (-8°C). Ciclo de 120-160 dias. Fornece densa cobertura vegetal protegendo contra erosão hídrica no inverno. Melhora estrutura do solo e possui relação C/N ideal para decomposição equilibrada. Baixo custo e fácil mecanização facilitam seu uso em grande escala. A aveia preta desempenha um papel significativo na agricultura sustentável e no manejo do solo. Seu uso como cultura de cobertura oferece vários benefícios que contribuem para melhorar as práticas agrícolas e a saúde do solo. Em primeiro lugar, ela é conhecida por sua adaptabilidade e desempenho agrônômico em diferentes tipos de solo (Ugrenović et al., 2021).

Além de promover melhores rendimentos em diversos solos, a aveia preta auxilia no controle da erosão, principalmente na agricultura de conservação. Essa cobertura ajuda a prevenir a erosão do solo e melhora a estrutura e a estabilidade do solo, tornando-se uma ferramenta eficaz para manter a integridade do solo

(Sims et al., 2018). Outro aspecto importante da aveia preta no manejo sustentável do solo é sua compatibilidade com corretivos orgânicos e práticas de melhoria da saúde do solo. Através da adição de matéria orgânica e do aumento dos microrganismos do solo, a aveia preta contribui para a saúde e fertilidade do solo. Isso se alinha com práticas mais amplas de manejo do solo que usam compostos orgânicos e lavoura de conservação para melhorar as propriedades físicas e biológicas do solo, promovendo um ecossistema agrícola mais resiliente (Singh et al., 2024).

**c) Aveia branca (*Avena sativa*)** - Gramínea anual de inverno com porte ereto, podendo atingir alturas entre 60 e 120 cm, possuindo folhas lanceoladas e panículas abertas, geralmente eretas ou levemente pendentes. Destaca-se por sua resistência moderada ao frio e à seca e adaptabilidade a solos diversos, incluindo os de baixa fertilidade. Produz significativa quantidade de biomassa seca (6-10 t/ha) e oferece uma palhada de decomposição moderada. É amplamente empregada em sistemas agrícolas devido à sua eficiência na proteção contra erosão, melhoria na estrutura física do solo e capacidade de promover rápida cobertura vegetal. Além disso, apresenta potencial de reciclagem de nutrientes e excelente utilização na rotação com leguminosas para manejo sustentável dos solos (Kim et al., 2021; Li & Chen, et al., 2023). Tal adaptabilidade posiciona a aveia como uma alternativa valiosa para agricultores em diferentes contextos climáticos e edáficos.

No contexto agrícola, a aveia desempenha um papel fundamental nas práticas de agricultura sustentável através de múltiplas contribuições para a saúde do solo e manejo da terra. A cultura produz quantidades substanciais de biomassa, essencial para manter e melhorar a qualidade do solo ao longo do tempo. A decomposição da palha de aveia ocorre em ritmo moderado, processo que contribui significativamente para melhorar a estrutura do solo e aumentar seu teor de matéria orgânica (Allwood et al., 2021).

**d) Centeio (*Secale cereale*)** - Planta anual de inverno (100-150 cm), sistema radicular excepcionalmente profundo e resistente a geadas severas (-15°C). Sistema radicular profundo melhora significativamente a estrutura do solo até 1,5 m. Propriedades alelopáticas suprimem plantas invasoras, recicla nutrientes lixiviados e protege contra erosão em terrenos inclinados. O potencial alelopático do centeio é atribuído principalmente à produção de compostos benzoxazinoides, que inibem o crescimento de espécies vegetais concorrentes interferindo em seus processos fisiológicos (Barnes e Putnam, 1983).

A interação dinâmica entre os compostos alelopáticos do centeio e os fatores ambientais ressalta a complexidade desses sistemas ecológicos. Estudos têm demonstrado que os benzoxazinoides do centeio estão sujeitos a transformações no solo, envolvendo atividade microbiana, o que resulta na produção de compostos secundários como as fenoxazinonas com graus variados de fitotoxicidade (Schulz et al., 2013). Essas transformações, impulsionadas pelas condições ambientais e pelo estágio de desenvolvimento do centeio, influenciam o potencial alelopático e sua duração (Schulz et al., 2013). Portanto, o papel do centeio como uma planta de cobertura alelopática é valioso em sistemas de agricultura convencional e orgânica para reduzir o uso de herbicidas e promover práticas agrícolas sustentáveis (Camargo Silva e Bagavathiannan, 2023). Por meio de tais estratégias, o centeio contribui para melhorar a saúde do solo, reduzir a erosão e a reciclagem eficaz de nutrientes, apoiando assim sua utilização como uma cultura multifuncional em diversas paisagens agrícolas.

**e) Milheto (*Pennisetum glaucum*)** - Gramínea anual de verão (1-3 m), crescimento muito rápido, panículas cilíndricas densas. Alta tolerância à seca e calor. Produção elevada de biomassa (10-20 t/ha), rápida cobertura do solo no verão e eficiente uso de água. Sistema radicular agressivo que rompe compactação superficial, cicla potássio e fósforo. O milheto é reconhecido por suas consideráveis contribuições à agricultura, especialmente em áreas áridas e

semiáridas. Este cereal anual de verão pode crescer rapidamente, atingindo alturas de até 3 metros, com panículas densas e cilíndricas. As características que o tornam uma escolha popular incluem alta tolerância ao calor e à seca, um aspecto crítico para a sua aptidão em climas imprevisíveis e em regiões menos férteis (Satyavathi et al., 2021; Serba et al., 2020).

O sistema radicular profundo e agressivo do milho é especialmente eficaz para romper a compactação superficial do solo e melhorar a ciclagem de nutrientes, como potássio e fósforo. Seu crescimento robusto proporciona uma rápida cobertura do solo durante o verão, ajudando a prevenir a erosão e a promover a conservação da umidade (Satyavathi et al., 2021). O milho é uma cultura que pode ser estratégica devido à sua resiliência climática, eficiência no uso da água, e capacidades de adaptação a solos com baixo teor de nutrientes. Essas características fazem dele uma excelente opção para melhorar a segurança alimentar e nutricional em ambientes de cultivo marginalizados.

*f) Brachiarias (brizantha e ruziziensis)* - As espécies de *Brachiaria*, particularmente *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria ruziziensis*, são amplamente reconhecidas por seus múltiplos benefícios quando utilizadas como plantas de cobertura em sistemas agrícolas sustentáveis. Essas gramíneas contribuem significativamente para melhorar a estrutura do solo e a ciclagem de nutrientes, especialmente o nitrogênio, através de seus sistemas radiculares desenvolvidos. Os sistemas radiculares das espécies de braquiária, como as suas raízes finas, aumentam a rede de poros do solo, reduzindo a lixiviação de nitrato e melhorando a retenção de nitrogênio (Galdos et al., 2020). Além disso, as plantas de cobertura de braquiária demonstraram aumentar efetivamente a ciclagem do potássio, evitando a necessidade de adubação mineral potássica em alguns sistemas produtivos (Silva et al., 2024).

A capacidade de produzir biomassa significativa proporciona extensa cobertura do solo, oferecendo proteção eficaz contra processos erosivos e

degradação edáfica (Oliveira et al., 2020). Esta dupla funcionalidade - cobertura do solo e forragem - torna a braquiária especialmente valiosa em sistemas integrados de produção agropecuária. A produção de biomassa adequada contribui para a manutenção da matéria orgânica do solo e melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. O potencial produtivo dessas gramíneas permite sua utilização eficiente em diferentes sistemas de manejo, desde plantios solteiros até consórcios com outras culturas. Apesar dos múltiplos benefícios, o uso efetivo da braquiária requer manejo cuidadoso para maximizar as vantagens e evitar possíveis desvantagens, como competição com culturas principais (Silva et al., 2024). É crucial abordar adequadamente as pragas de artrópodes que comumente afetam a braquiária, como ácaros e moscas-do-broto do sorgo, para manter a saúde e produtividade das culturas (Cheruiyot et al., 2020). Práticas de manejo como laminação e dessecação sazonais podem ser necessárias para otimizar os benefícios para o crescimento subsequente da cultura e propriedades do solo (Romdhane et al., 2019).

**g) Festuca (*Festuca arundinacea*)** - Planta perene de estação fria (60-120 cm), touceiras densas e sistema radicular profundo (até 2 m). Longa persistência (8-12 anos), resistência ao pisoteio e condições adversas (seca, encharcamento). Melhora a estrutura do solo profundamente e necessita poucos cortes anuais. É uma gramínea perene com raízes profundas conhecida por sua capacidade de melhorar a saúde do solo e fornecer controle de erosão. Esta gramínea é frequentemente infectada com endófitos fúngicos como *Acremonium coenophialum* e *Neotyphodium coenophialum*, que têm interações significativas com a planta.

Um impacto positivo da festuca na saúde do solo é seu papel na ciclagem de nutrientes. Os endófitos fúngicos na festuca podem aumentar a rizodeposição, que é a liberação de compostos orgânicos das raízes das plantas para o solo. Estudos mostraram que a festuca infectada com endófitos libera mais carbono orgânico e carboidratos no solo em comparação com plantas sem endófitos. Esses

exsudatos podem estimular a atividade microbiana, o que, por sua vez, pode aumentar a mineralização de nutrientes, melhorando assim a disponibilidade de nutrientes em solos com limitação de nutrientes (Van Hecke et al., 2005).

A capacidade da festuca alta de controlar a erosão e melhorar a estrutura do solo também é digna de nota. O sistema radicular profundo desta espécie ajuda a prender o solo, tornando-o menos suscetível à erosão. Em ambientes com estresse hídrico, a festuca infectada com endófitos mostrou maior tolerância à seca, o que pode contribuir para manter a cobertura do solo e, assim, reduzir o potencial de erosão do solo (Arachevaleta et al., 1989). No entanto, a festuca alta pode competir com as culturas por água e nutrientes, o que requer um manejo cuidadoso. Embora a festuca ofereça vários benefícios para a saúde do solo e controle da erosão devido às suas associações endófitas e sistema radicular robusto, é crucial equilibrar esses benefícios contra sua competição com outras culturas. Práticas de manejo eficazes são essenciais para aproveitar suas vantagens na melhoria da saúde do solo e, ao mesmo tempo, mitigar seus impactos competitivos nas principais culturas.

**h) Cevada (*Hordeum vulgare*)** - é uma gramínea anual de inverno, com altura variando de 60 a 100 cm, caracterizada por colmos eretos e espigas densas. Apresenta ciclo fenológico relativamente curto, entre 90 e 120 dias, e elevada adaptabilidade edáfica, permitindo múltiplos cultivos anuais. Sua biomassa aérea fornece alimento para fauna benéfica e produz palhada de decomposição média, favorecendo sistemas de rotação, particularmente com leguminosas. No manejo de pomares, a cevada tem sido amplamente adotada como planta de cobertura, em função de seu potencial de promover melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Evidências indicam que seu cultivo reduz a lixiviação de nitratos, atenua processos erosivos e incrementa a retenção de carbono e nitrogênio no perfil do solo (González et al., 2018; Torres et al., 2021). A capacidade de mitigar perdas de nutrientes, sobretudo de nitrogênio, constitui um benefício

ambiental e agronômico relevante, associado à preservação da qualidade da água e à otimização do uso de fertilizantes (Salmerón et al., 2010). A cobertura com cevada também contribui para a melhoria da estabilidade estrutural do solo e para o aumento de sua capacidade de retenção hídrica, atributos críticos em áreas suscetíveis à degradação física (González et al., 2018). Outro efeito desejável é o sequestro de carbono, resultando em incremento dos estoques de matéria orgânica e mitigação de emissões líquidas de gases de efeito estufa (Torres et al., 2021). Ademais, a competição exercida pela cevada por luz, nutrientes e espaço apresenta efeito supressor sobre a emergência e o desenvolvimento de plantas daninhas (Scursoni & Satorre, 2005).

Apesar de suas vantagens, o uso da cevada como cobertura em pomares demanda atenção a potenciais efeitos adversos. Em ambientes de baixa disponibilidade hídrica ou nutricional, a competição com espécies perenes, como frutíferas, pode comprometer o rendimento destas (Salmerón et al., 2010). Adicionalmente, a liberação de nitrogênio oriunda da mineralização de sua biomassa pode ocorrer de forma temporalmente dessincronizada em relação às exigências das culturas subsequentes, ocasionando deficiência nutricional e queda de produtividade (Tosti et al., 2012). Outro aspecto crítico refere-se ao manejo dos resíduos culturais, pois a decomposição inadequada pode intensificar as emissões de óxido nitroso, contribuindo para o aquecimento global (García-Gutiérrez et al., 2024). A inserção da cevada como planta de cobertura em pomares representa uma estratégia agronômica com elevado potencial para a melhoria da qualidade edáfica, a conservação de nutrientes e a supressão de plantas daninhas. No entanto, a otimização desses benefícios requer manejo integrado e criterioso, fundamentado em avaliações edafoclimáticas e na compatibilidade com as demandas fisiológicas das culturas principais.

### **4.3 Outras espécies**

a) **Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*)** - constitui uma espécie anual de inverno da família Brassicaceae, caracterizada por porte herbáceo com altura variando entre 40 e 80 cm e sistema radicular pivotante robusto, capaz de atingir profundidades de até 60 cm. A morfologia floral apresenta inflorescências em racemo, com flores de coloração branca ou rósea. O ciclo fenológico é relativamente breve, oscilando entre 70 e 120 dias. Sua inserção em sistemas agrícolas justifica-se pela notável aptidão para descompactar horizontes superficiais e subsuperficiais do solo, ampliando a taxa de infiltração hídrica e promovendo condições edáficas favoráveis ao desenvolvimento radicular de culturas subsequentes. Ademais, desempenha papel significativo na reciclagem de nutrientes móveis, especialmente nitrogênio e potássio, os quais são prontamente disponibilizados na fase inicial da primavera em decorrência da rápida decomposição da biomassa radicular e aérea. Adicionalmente, exerce efeito biofumigante contra nematoides, decorrente da presença e hidrólise de glucosinolatos.

O uso do nabo forrageiro como planta de cobertura em pomares revela um conjunto de benefícios agronômicos, ainda que acompanhado de determinadas limitações operacionais e ecológicas. Dentre as vantagens, destaca-se sua elevada capacidade de supressão de plantas daninhas anuais de inverno, atuando como barreira física e competindo eficientemente por recursos lumínicos, hídricos e nutricionais, o que pode reduzir a dependência de herbicidas (Lawley et al., 2011, 2012). Outro aspecto relevante é sua eficiência na ciclagem de nutrientes, notadamente o fósforo, absorvido durante o ciclo vegetativo e subsequentemente liberado ao solo após a decomposição (White & Weil, 2011). A decomposição do sistema radicular, volumoso e carnudo, favorece a formação de macroporos, incrementando a infiltração de água e mitigando a compactação superficial e subsuperficial (White & Weil, 2011). Em determinados contextos de manejo, a cultura pode também contribuir para a redução de populações de insetos fitófagos

e para o incremento da atividade de inimigos naturais, fortalecendo processos de controle biológico (Altieri & Schmidt, 1985).

Por outro lado, seu desempenho na disponibilização de nitrogênio é inconsistente: embora seja capaz de acumular este nutriente, a sua contribuição efetiva às culturas subseqüentes não é garantida, podendo inclusive resultar em balanços neutros ou negativos, especialmente em gramíneas como o milho (Gieske et al., 2016; Ruark et al., 2018). A supressão de plantas daninhas tende a ser mais efetiva no outono e início da primavera, tornando-se insuficiente para o controle de espécies estival-adaptadas, o que frequentemente exige complementação química (Lawley et al., 2011). O manejo envolve custos adicionais, tanto na aquisição de sementes quanto no uso de maquinário especializado para semeadura e condução da cobertura vegetal (Oliveira et al., 2019). Ademais, a ausência de simbiose com fungos micorrízicos arbusculares pode interferir na colonização radicular de culturas subseqüentes, embora evidências empíricas indiquem que tais efeitos sejam, em alguns casos, pouco expressivos (White & Weil, 2010). A inserção do nabo forrageiro em sistemas pomares como planta de cobertura apresenta elevado potencial para melhoria da qualidade física e química do solo e para a supressão de plantas daninhas.

**b) Trigo Mourisco (*Fagopyrum esculentum*)** - como planta de cobertura em pomares apresenta diversas vantagens, embora também possua algumas limitações. Entre os principais benefícios, destaca-se a supressão de plantas daninhas, atribuída ao seu rápido crescimento, que lhe permite competir eficientemente por luz e nutrientes. Além disso, acredita-se que o trigo-mourisco possua propriedades alelopáticas capazes de inibir o desenvolvimento de plantas invasoras. Essa capacidade de controle natural representa um fator relevante em pomares, pois pode reduzir a necessidade de aplicação de herbicidas químicos (Falquet et al., 2015). Outro aspecto positivo refere-se ao estímulo ao controle biológico de pragas. Estudos demonstram que o trigo mourisco, ao oferecer recursos florais,

favorece populações de inimigos naturais, como parasitoides benéficos que atacam espécies-praga, a exemplo das lagartas enroladeiras de folhas. Esse efeito pode resultar em maiores taxas de parasitismo e benefícios potenciais para o manejo integrado de pragas em pomares (Stephens et al., 1998).

A contribuição para a melhoria da saúde do solo também é notável. Como planta de cobertura, pode aprimorar a estrutura e a qualidade do solo, aumentando o teor de matéria orgânica quando incorporado. Por essa razão, é comumente incluído em rotações de culturas, aproveitando-se de suas propriedades benéficas para a fertilidade e conservação do solo. Adicionalmente, suas flores oferecem fonte de néctar para polinizadores, o que se mostra vantajoso em pomares que dependem da polinização para a frutificação. Esse suprimento adicional de alimento contribui para a manutenção e o fortalecimento das populações locais de polinizadores. No entanto, algumas desvantagens devem ser consideradas. Em determinados contextos, o trigo-mourisco apresenta eficácia limitada no controle de plantas daninhas. Em pomares de damasco, por exemplo, foi identificado como a cobertura menos eficiente nesse aspecto quando comparado a outras estratégias de cultivo, o que indica que seu desempenho pode variar conforme o ambiente, o manejo e as espécies de plantas daninhas presentes (Tursun et al., 2018).

Outro ponto a considerar é seu baixo rendimento e valor econômico direto, já que o trigo mourisco não é cultivado com o objetivo principal de colheita, mas sim pelo seu papel ecológico como planta de cobertura. Esse fator pode influenciar a análise de custo-benefício de sua utilização (Matsui & Yasui, 2020). Além disso, a cultura contém proteínas capazes de provocar reações alérgicas em indivíduos sensíveis. Embora essa característica seja mais preocupante no caso de produção para consumo humano, pode ter relevância em pomares que realizem rotações envolvendo culturas alimentares (Matsui & Yasui, 2020). De modo geral, os benefícios do uso do trigo mourisco como planta de cobertura em pomares tendem a superar suas limitações, especialmente no que se refere à supressão de plantas daninhas, ao suporte ao controle biológico de pragas e à melhoria da saúde do solo.

Contudo, sua aplicação e eficácia estão diretamente relacionadas às condições locais e às práticas de manejo adotadas.

## **5. Interações com o Pessegueiro**

A influência das plantas de cobertura sobre o desenvolvimento e produtividade das plantas de pessegueiro apresenta aspectos complexos que variam conforme a idade do pomar, espécies utilizadas e práticas de manejo adotadas. Em pomares jovens (1-4 anos), a competição por recursos representa o fator mais crítico, podendo resultar em redução do crescimento vegetativo quando não adequadamente manejada (Rufato et al., 2006b; Simões et al., 2020). Pesquisas demonstram que as plantas mantidas em faixas livres de vegetação exibem um crescimento significativamente maior em comparação com aquelas cercadas por plantas de cobertura. Especificamente, a área da seção transversal dos troncos das plantas cultivadas em faixas de vegetação clara de 3,6 metros de largura foi 2,3 vezes maior do que aquelas totalmente circundadas por plantas de cobertura. Essa variação no tamanho do tronco pode ser atribuída a vários fatores, incluindo competição por recursos como água, nutrientes e disponibilidade de luz (Gómez-Aparicio et al., 2011; Tumajer et al., 2023). Entretanto, em pomares estabelecidos (>5 anos), as plantas de cobertura tendem a exercer efeitos neutros ou positivos sobre o desenvolvimento das plantas (Rufato et al., 2006b). Estudos brasileiros em sistema de produção integrada evidenciaram que associações de plantas de cobertura, particularmente aveia-preta + ervilha forrageira, proporcionaram incrementos significativos na produtividade, atingindo médias superiores em 25-40% comparativamente ao controle (Rufato et al., 2006b).

O mecanismo pelo qual as plantas de cobertura influenciam o desenvolvimento das plantas envolve múltiplos fatores interrelacionados. A competição hídrica representa o aspecto mais crítico, especialmente durante períodos de déficit hídrico (Giacalone et al., 2021; Losciale et al., 2020). Plantas de cobertura podem reduzir a umidade disponível no solo durante a primavera e

verão, período de intensa demanda hídrica das plantas (Do Carmo et al., 2022). Contudo, a longo prazo, a melhoria da estrutura do solo e da capacidade de retenção hídrica proporcionada pelas plantas de cobertura pode compensar esta competição inicial (Welker & Glenn, 1988). A competição nutricional é particularmente relevante para nitrogênio, onde plantas de cobertura não-leguminosas podem temporariamente imobilizar este nutriente (Florentín et al., 2011). Entretanto, leguminosas podem contribuir significativamente para o suprimento nitrogenado das plantas, com estudos indicando aumentos de 10-30% no conteúdo foliar de nitrogênio (Florentín et al., 2011).

A dinâmica temporal da competição é fundamental para compreender as interações entre plantas de cobertura e pessegueiros. Durante o estabelecimento das plantas de cobertura (primeiros 30-45 dias), a competição é mínima devido ao pequeno porte das plantas (Tassinari et al., 2021). O período de maior competição ocorre durante o crescimento vegetativo intenso das plantas de cobertura (60-120 dias após emergência), coincidindo frequentemente com fases críticas do desenvolvimento das plantas frutíferas (Giacalone et al., 2021). Após a terminação das plantas de cobertura, observa-se período de benefício líquido, onde a decomposição dos resíduos libera nutrientes sem competição ativa (Tassinari et al., 2021). Esta dinâmica temporal deve orientar o manejo das plantas de cobertura para maximizar benefícios e minimizar a competição.

Os efeitos sobre a qualidade de frutos representam um dos aspectos mais relevantes economicamente da utilização de plantas de cobertura em pomares de pessegueiro. Plantas de cobertura vivas, especialmente aquelas incluindo ervilhaca peluda, demonstraram promover incrementos no conteúdo de sólidos solúveis totais dos frutos, componente diretamente relacionado à qualidade gustativa (Simões et al., 2020). A relação açúcar/ácido, indicador importante da qualidade organoléptica, pode ser melhorada em 15-25% com o uso adequado de plantas de cobertura (Simões et al., 2020). Estudos indicam que o conteúdo de açúcares nos frutos pode aumentar devido à melhoria do status nutricional das plantas,

especialmente relacionado ao maior suprimento de nitrogênio pelas leguminosas. Simultaneamente, observa-se redução no conteúdo de ácidos orgânicos, contribuindo para o melhor equilíbrio gustativo dos frutos (Jakopic et al., 2007; Xia et al., 2009).

A firmeza da polpa, característica crucial para a comercialização e vida útil pós-colheita dos pêssegos, pode ser influenciada positivamente pelo manejo adequado de plantas de cobertura (Evans et al., 1988). Sistemas com cobertura morta proveniente de plantas de cobertura terminadas proporcionaram incrementos de 8-15% na firmeza da polpa comparativamente a sistemas convencionais (Evans et al., 1988). Este efeito é atribuído ao melhor equilíbrio nutricional das plantas e à redução de estresses hídricos durante o desenvolvimento dos frutos (Simões et al., 2020). O tamanho dos frutos também pode ser beneficiado, especialmente quando plantas de cobertura melhoram a disponibilidade hídrica durante fases críticas de desenvolvimento (Losciale et al., 2020). Incrementos de 10-20% no peso médio dos frutos foram observados em sistemas bem manejados com plantas de cobertura (Rufato et al., 2006b).

A interação com o sistema radicular das plantas de pessegueiro constitui aspecto fundamental para compreender os efeitos das plantas de cobertura. O pessegueiro apresenta sistema radicular relativamente superficial, com 60-80% das raízes absorventes concentradas nos primeiros 30 cm do solo (Li et al., 2023). Esta característica torna a cultura particularmente sensível à competição radicular de plantas de cobertura na mesma profundidade (Tworkoski & Glenn, 2001). Entretanto, estudos demonstram que plantas de cobertura adequadamente manejadas podem estimular o desenvolvimento radicular do pessegueiro através da melhoria das condições físicas e biológicas do solo (Welker & Glenn, 1988). Pesquisas com trevo branco evidenciaram aumento da densidade radicular do pessegueiro nas camadas superficiais, atribuído à melhoria da estrutura do solo e maior atividade biológica (Parveaud & Gomez, 2012).

A distribuição espacial das raízes é modificada pela presença de plantas de cobertura. Sistemas radiculares de pessegueiros em pomares com plantas de cobertura tendem a desenvolver maior proporção de raízes finas e maior ramificação, características adaptativas à competição por recursos (Li et al., 2023). Esta modificação morfológica pode resultar em maior eficiência de absorção de nutrientes por unidade de massa radicular (Tworkoski & Glenn, 2001). A atividade das micorrizas, simbioses fundamentais para a absorção de fósforo e outros nutrientes, é significativamente estimulada pela presença de plantas de cobertura diversificadas (Fontão de Lima et al., 2023a). Aumentos de 40-80% na colonização micorrízica foram observados em sistemas com plantas de cobertura comparativamente a sistemas convencionais (Fontão de Lima et al., 2023a).

A profundidade de exploração do sistema radicular pode ser influenciada pelas plantas de cobertura. Espécies com sistema radicular pivotante, como nabo forrageiro e tremoço, criam canais no solo que facilitam a penetração das raízes do pessegueiro em camadas mais profundas (Becky Carroll, 2017). Este efeito é particularmente valioso em solos com camadas compactadas que limitam o desenvolvimento radicular (Becky Carroll, 2017). A densidade radicular pode ser aumentada em 30-50% em pomares com plantas de cobertura adequadamente manejadas, resultado da melhoria das condições físicas e químicas do solo (Welker & Glenn, 1988). Esta maior densidade radicular contribui para maior eficiência de absorção de água e nutrientes, especialmente durante períodos de estresse (Parveaud & Gomez, 2012).

## **6. Estudos de caso e pesquisas recentes**

O avanço contínuo de pesquisas na fruticultura tem consolidado a importância das plantas de cobertura como uma excelente ferramenta de manejo integrada, cujos benefícios se estendem além da proteção superficial do solo, impactando positivamente as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo no ambiente de produção (Ciacci et al., 2025; Tassinari et al., 2021; Ramos et al.,

2022). A seção anterior detalhou os benefícios gerais das plantas de cobertura; contudo, a literatura recente tem se concentrado em quantificar e elucidar os mecanismos específicos pelos quais a biomassa e o sistema radicular das plantas de cobertura modulam o sistema solo-planta-atmosfera no contexto de pomares de pessegueiro. Os estudos mais recentes favorecem evidências que mostram quais as melhores plantas de cobertura a serem utilizadas em diferentes condições edafoclimáticas, permitindo a transição de um conhecimento mais generalista para um de soluções mais específicas. A seguir, são explorados os resultados mais relevantes que demonstram o impacto das plantas de cobertura em cada um dos pilares da saúde do solo.

### **6.1. Impacto nas propriedades físicas do Solo: mitigação da compactação e melhoria da infiltração**

O principal desafio físico em pomares é a compactação do solo induzida pelo tráfego de maquinário, que compromete a macroporosidade e a infiltração de água (Ramos et al., 2022). Pesquisas recentes mostram que a manutenção de plantas de cobertura nas entrelinhas atua como uma barreira protetora eficaz. Em um estudo em pomares de diferentes idades demonstrou que as entrelinhas com cobertura vegetal apresentaram um grau de compactação significativamente menor e uma taxa de infiltração de água superior em comparação com as entrelinhas onde o tráfego era preferencial (entrelinhas rodadas) (Ramos et al., 2022). Este efeito protetor é atribuído à dissipação da energia de impacto e à ação do sistema radicular das plantas de cobertura, que promovem a formação de agregados estáveis. Além disso, a presença de resíduos vegetais na superfície do solo minimiza a erosão hídrica, um fator de degradação física frequentemente associado a terrenos inclinados, comuns em áreas de fruticultura (Paula et al., 2022). A escolha de espécies com sistemas radiculares profundos e fibrosos é crucial para otimizar a descompactação e a estabilidade estrutural.

## **6.2. Impacto nas propriedades químicas do solo: ciclagem de nutrientes e matéria orgânica**

A melhoria das propriedades químicas do solo é um dos benefícios mais documentados das plantas de cobertura, principalmente através da adição de matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. Os resíduos depositados na superfície do solo, como a biomassa de aveia preta e azevém, contribuem para o aumento do teor de carbono orgânico, essencial para a capacidade de troca catiônica e a retenção de água (Ciacci et al., 2025; Nava et al., 2022). Com relação a ciclagem de nutrientes, o nitrogênio (N) é o nutriente mais estudado. Leguminosas como a alfafa e a ervilhaca possuem capacidade de favorecer a fixação biológica de N, fornecendo uma fonte sustentável para o pessegueiro (Rufato et al., 2007). Contudo, a liberação desse N para a cultura principal depende da taxa de decomposição do resíduo. Estudos com isótopos de  $^{15}\text{N}$  (Tassinari et al., 2021) demonstraram que a contribuição do N derivado da decomposição dos resíduos de aveia preta e azevém para a nutrição de pessegueiros maduros foi expressivamente baixa (inferior a 1%) no curto prazo, indicando que as reservas internas da planta e o N do solo são as principais fontes. Este resultado ressalta a importância da acumulação de matéria orgânica a longo prazo e do manejo do resíduo para sincronizar a liberação de N com a demanda da cultura. Vale lembrar, que apesar desse resultado para o N, as plantas de cobertura são importantes para a ciclagem de outros nutrientes como P, K, S, aumento da MOS e redução das perdas de solo e água no agroecossistema, o que é excelente para a sua sustentabilidade. Além disso, a competição por N pode ocorrer em pomares jovens, onde espécies que coabitam o pomar, como *Paspalum notatum*, podem reduzir a absorção de N pela muda, exigindo um manejo de adubação ajustado (Paula et al., 2022).

### **6.3. Resposta da planta e qualidade do fruto: desenvolvimento vegetativo e reprodutivo**

A melhoria das condições do solo reflete-se diretamente na resposta fisiológica e produtiva do pessegueiro. Estudos recentes têm quantificado os ganhos no desenvolvimento vegetativo e na qualidade dos frutos. Ciacci et al. (2025) demonstraram que o uso de plantas de cobertura, como a alfafa (*Medicago sativa* L.) e a consorciação de ervilhaca com aveia, resultou em aumento significativo no comprimento dos ramos, no diâmetro dos frutos e na firmeza da polpa da cultivar ‘Cristalino’. A alfafa, em particular, levou a um aumento de 16,7% no número de frutos por árvore, culminando em um incremento de 3–7 kg por árvore no rendimento total. Estes resultados sugerem que, sob manejo adequado, os benefícios das plantas de cobertura superam a potencial competição por água e nutrientes, resultando em melhorias na qualidade do fruto e na eficiência de produção. A escolha da espécie de cobertura também é crucial para o desenvolvimento vegetativo, sendo que algumas espécies como o tremçoço-azul (*Lupinus angustifolius* L.) e consórcios como aveia-preta + chícharo podem promover maior desenvolvimento do tronco e dos ramos, enquanto outras, como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *oleiferus*), podem ter um efeito de redução devido a possíveis efeitos alelopáticos (Rufato et al., 2007). Este último ponto também se relaciona com os aspectos biológicos do solo, uma vez que a alelopatia é uma interação bioquímica mediada por compostos liberados no ambiente.

### **7. Considerações finais**

A análise abrangente das plantas de cobertura em pomares de pessegueiro evidencia que esta prática representa uma ferramenta fundamental para o manejo sustentável da cultura, oferecendo benefícios multidimensionais que transcendem a simples proteção do solo. A melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo constitui o pilar central destes benefícios, proporcionando incrementos significativos na porosidade, agregação, infiltração e retenção de

água, além de estimular a atividade microbiana e da formação de associações simbióticas benéficas. A fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas emerge como benefício economicamente estratégico, capaz de suprir parcial ou totalmente as demandas nitrogenadas dos pomares, com contribuições que variam entre 50-200 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> dependendo da espécie e condições de cultivo.

O controle natural de plantas daninhas, através de competição, alelopatia e efeito físico, representa alternativa sustentável aos herbicidas, com eficiências que podem alcançar 90-99% de supressão de plantas indesejáveis. A conservação da biodiversidade e promoção do controle biológico ampliam o escopo dos benefícios para além do solo, contribuindo para a estabilidade e resiliência do agroecossistema.

Apesar dos benefícios evidentes, a implementação de plantas de cobertura enfrenta desafios significativos que demandam atenção técnica especializada. A competição por recursos, especialmente água e nitrogênio, permanece como limitação principal, particularmente em pomares jovens e regiões com restrições hídricas. Esta competição pode resultar em redução do crescimento vegetativo das plantas quando não adequadamente manejada, especialmente nos primeiros anos de estabelecimento do pomar. O manejo temporal adequado, incluindo época de semeadura, terminação e integração com operações do pomar, demanda conhecimento técnico especializado e pode representar barreira para produtores menos experientes. A variabilidade de respostas entre diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de produção requer adaptação local das recomendações, sendo necessário desenvolvimento de protocolos regionais específicos. Os custos iniciais de implementação, incluindo sementes, preparação do solo e equipamentos, podem representar limitação econômica, especialmente para pequenos produtores, com investimentos que variam entre R\$ 150-400 ha<sup>-1</sup> para sementes e custos adicionais de manejo.

Para superar estes desafios e garantir uma implementação bem-sucedida, é fundamental adotar uma abordagem sistemática baseada em soluções práticas e

tecnicamente fundamentadas. A seleção adequada de espécies constitui o primeiro passo crítico, devendo considerar objetivos específicos como fixação de nitrogênio, controle de plantas daninhas ou melhoria da estrutura do solo, além das condições locais de clima, solo e disponibilidade hídrica. Para pomares jovens, recomenda-se manter faixas livres de vegetação de 0,6-1,2 m ao redor das plantas para reduzir a competição por recursos, utilizando plantas de cobertura apenas nas entrelinhas. A escolha de espécies com diferentes ciclos de desenvolvimento permite rotação estratégica que maximiza benefícios enquanto minimiza a competição, como o uso de aveia-preta e azevém no inverno seguido de leguminosas como feijão-de-porco no verão.

O planejamento cuidadoso representa elemento essencial para o sucesso da implementação. A sincronização entre o ciclo das plantas de cobertura e as fases fenológicas do pessegueiro é crucial para evitar competição durante períodos críticos como floração, frutificação e colheita. A terminação das plantas de cobertura deve ocorrer no momento adequado, geralmente no início do florescimento para leguminosas e no emborrachamento para gramíneas, maximizando a produção de biomassa enquanto evita competição excessiva. A implementação gradual, iniciando com áreas piloto de 10-20% do pomar, permite ajustes baseados na experiência local e minimiza riscos operacionais. Este processo gradual também facilita a curva de aprendizado dos produtores e permite avaliação econômica antes da expansão total do sistema.

A capacitação técnica de produtores e técnicos constitui elemento fundamental para adoção bem-sucedida das plantas de cobertura. Programas de extensão rural devem abordar aspectos práticos como identificação de espécies adequadas para cada situação, técnicas de semeadura, densidade de plantio, época de terminação e integração com outras práticas de manejo. Demonstrações práticas em propriedades modelo permitem aos produtores observarem diretamente os resultados e compreender as nuances do manejo. A formação de grupos de produtores para troca de experiências facilita a disseminação de conhecimentos e

soluções locais. O estabelecimento de parcerias com instituições de pesquisa permite acesso a recomendações atualizadas e suporte técnico especializado.

O monitoramento adequado representa ferramenta essencial para otimização contínua do sistema. Parâmetros como status nutricional das plantas, qualidade do solo, produtividade e qualidade dos frutos devem ser acompanhados sistematicamente para avaliar a eficácia das plantas de cobertura e permitir ajustes no manejo. A análise foliar anual permite detectar deficiências nutricionais precocemente, enquanto análises de solo bienais monitoram melhorias nas propriedades físicas e químicas. O registro de custos e benefícios facilita a avaliação econômica e justifica investimentos futuros.

As considerações econômicas devem integrar análise de custos e benefícios de curto e longo prazo para demonstrar a viabilidade financeira do sistema. Os benefícios econômicos diretos incluem economia de fertilizantes nitrogenados (R\$ 200-600 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para leguminosas), redução de herbicidas (R\$ 100-300 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e economia de irrigação através da redução de 10-30% no consumo hídrico. Os benefícios indiretos, embora mais difíceis de quantificar, incluem melhoria da qualidade dos frutos, redução de perdas por estresses abióticos, aumento da vida útil do pomar e valorização da propriedade. Análises econômicas demonstram que plantas de cobertura podem proporcionar retorno sobre investimento de 150-270% em sistemas bem manejados, tornando a prática economicamente atrativa mesmo considerando os custos iniciais.

A adaptação às condições locais representa fator crítico que determina o sucesso das plantas de cobertura. Em regiões temperadas do Sul do Brasil, espécies de inverno como aveia, centeio e ervilhaca são preferenciais, com semeadura entre março-abril e terminação em agosto-setembro. Regiões subtropicais podem utilizar tanto espécies de inverno quanto de verão, ampliando as opções de manejo e permitindo cobertura contínua do solo. Áreas com limitações hídricas requerem seleção criteriosa de espécies tolerantes à seca como nabo forrageiro e tremoço, além de manejo hídrico otimizado. Solos com problemas específicos como acidez,

compactação ou baixa fertilidade pode ser beneficiados por espécies com características corretivas apropriadas, como o uso de tremoço em solos ácidos ou nabo forrageiro em solos compactados.

As perspectivas futuras para adoção de plantas de cobertura em pomares de pessegueiro são promissoras, impulsionadas por fatores convergentes que favorecem práticas sustentáveis. A crescente pressão por sustentabilidade ambiental e redução do uso de insumos sintéticos favorece práticas que integrem produtividade com conservação de recursos naturais. O desenvolvimento de novas variedades de plantas de cobertura especificamente adaptadas para uso em sistemas frutícolas representa oportunidade de otimização dos benefícios, com características como baixa estatura, tolerância à sombra, eficiência na fixação de nitrogênio e compatibilidade aprimorada com plantas frutíferas. A integração de tecnologias de agricultura de precisão, incluindo semeadura variável baseada em características do solo e monitoramento remoto da cobertura vegetal, pode otimizar a implementação e manejo em escala comercial. As mudanças climáticas, caracterizadas por maior variabilidade e eventos climáticos extremos, aumentam a relevância das plantas de cobertura como estratégia de adaptação e mitigação, tornando sua adoção não apenas desejável, mas necessária para a sustentabilidade dos sistemas produtivos de pessegueiro.

## 8. Referências Bibliográficas

ABAD, J.; HERMOSO DE MENDOZA, I.; MARÍN, D.; ORCARAY, L.; SANTESTEBAN, L.G. Cover crops in viticulture. A systematic review (1): Implications on soil characteristics and biodiversity in vineyard. *OENO One*, 55, 1, 2021. <https://doi.org/10.20870/oenone.2021.55.1.3599>

ABASI, F.; HUSSAIN, S.; MASHWANI, Z.; RAJA, N. I. **Orchards management under changing climate**. In: FAHAD, S.; ADNAN, M.; MUNIR, I.; LAL, R.; NAWAZ, T.; SAUD, S. Challenges and Solutions of Climate Impact on Agriculture. Academic Press, 2025. pp. 145-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23707-2.00006-4>.

ALEMAYEHU, G. F.; FORSIDO, S. F.; TOLA, Y. B.; AMARE, E. Nutritional and phytochemical composition and associated health benefits of oat (*Avena sativa*) grains and oat-based fermented food products. *The Scientific World Journal*, 1, 2730175, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/2730175>.

ALLWOOD, J. W.; MARTINEZ-MARTIN, P.; XU, Y.; COWAN, A.; PONT, S.; GRIFFITHS, I.; SUNGURTAS, J.; CLARKE, S.; GOODACRE, R.; MARSHALL, A.; STEWART, D.; HOWARTH, C. Assessing the impact of nitrogen supplementation in oats across multiple growth locations and years with targeted phenotyping and high-resolution metabolite profiling approaches. **Food Chemistry**, 355, 129585, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129585>.

ALTIERI, M. A.; SCHMIDT, L. L. Cover crop manipulation in northern california orchards and vineyards: Effects on arthropod communities. **Biological Agriculture and Horticulture**, 3(1), 1–24, 1985. <https://doi.org/10.1080/01448765.1985.9754453>

ARACHEVALETA, M.; BACON, C. W.; HOVELAND, C. S.; RADCLIFFE, D. E. Effect of the tall fescue endophyte on plant response to environmental stress. **Agronomy Journal**, 81(1), 83–90, 1989. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1989.00021962008100010015X>.

BALKCOM, K. S.; DUZY, L. M.; KORNECKI, T. S.; PRICE, A. J. Timing of cover crop termination: management considerations for the southeast. **Crop, Forage & Turfgrass Management**, 1(1), 1–7, 2015. <https://doi.org/10.2134/CFTM2015.0161>.

BALLIANA, A. G.; MOURA, B. B.; INCKOT, R. C.; BONA, C. Development of *Canavalia ensiformis* in soil contaminated with diesel oil. **Environmental Science and Pollution Research**, 24(1), 979–986, 2017. <https://doi.org/10.1007/S11356-016-7674-1>

BARNES, J. P.; PUTNAM, A. R. Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. **Journal of Chemical Ecology**, 9(8), 1045–1057, 1983. <https://doi.org/10.1007/BF00982210/METRICS>.

BAYER, C.; DIECKOW, J.; AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F.; VIEIRA, F. C. B. Cover crop effects increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy Acrisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 40(9–10), 1499–1511, 2009. <https://doi.org/10.1080/00103620902820365>

BECKY CARROLL. **Planting and early care of the peach orchard**, 2017, Oklahoma State University. Disponível em: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/planting-and-early-care-of-the-peach-orchard.html>. Acesso em: 10 fev. 2026.

BELLUCCI, V. **Distribuzione radicale in un pescheto con pacciamatura viva sottofila tesi**, 2023. Università Politecnica delle Marche. Disponível em: <https://tesi.univpm.it/handle/20.500.12075/16062>. Acesso em: 10 fev. 2026.

BOBADILLA, L. K.; HULTING, A. G.; BERRY, P. A.; MORETTI, M. L.; MALLORY-SMITH, C. Frequency, distribution, and ploidy diversity of herbicide-resistant Italian ryegrass (*Lolium perenne* spp. multiflorum) populations of western Oregon. **Weed Science**, 69(2), 177–185, 2021. <https://doi.org/10.1017/WSC.2021.2>

BODNER, G.; HIMMELBAUER, M.; LOISKANDL, W.; KAUL, H. P. Improved evaluation of cover crop species by growth and root factors. **Agronomy for Sustainable Development**, 30(2), 455–464, 2012. <https://doi.org/10.1051/AGRO/2009029>

BRENNAN, E. B.; BOYD, N. S.; SMITH, R. F.; FOSTER, P. Seeding rate and planting arrangement effects on growth and weed suppression of a legume-oat cover crop for organic vegetable systems. **Agronomy Journal**, 101(4), 979–988, 2009. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2008.0194>

BREWER, M.; STRAUSS, S. L.; CHASE, C.; SELLERS, B.; KADYAMPAKENI, D. M.; VAN SANTEN, E.; KANISSERY, R. Effects of cover crops on weed suppression in the interrow spaces of citrus orchards. **Weed Science**, 73, e15, 2025. <https://doi.org/10.1017/WSC.2024.72>

BRUNO, M. R.; PIARULLI, M.; VITTI, C.; MASTRANGELO, M.; AZZOLINI, A.; CIURLIA, A.; RANA, G.; FERRARA, R. M. Mixed Compost Application: A sustainable tool for improving soil carbon dynamics in a peach orchard under mediterranean conditions. **Sustainability**, v. 17, 17(12), p.5613, 2025. <https://doi.org/10.3390/SU17125613>.

BUGG, R. L.; WADDINGTON, C. Using cover crops to manage arthropod pests of orchards: A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 50(1), 11–28, 1994. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)90121-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)90121-X).

CAMARGO SILVA, G.; BAGAVATHIANNAN, M. Mechanisms of weed suppression by cereal rye cover crop: A review. **Agronomy Journal**, 115(4), 1571–1585, 2023. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.21347>

CARADUS, J. R.; WOODFIELD, D. R.; STEWART, A. V. Overview and vision for white clover. **NZGA: Research and Practice Series**, 6, 1–6, 1995. <https://doi.org/10.33584/RPS.6.1995.3368>

CARLSEN, S. C. K.; PEDERSEN, H. A.; SPLIID, N. H.; FOMSGAARD, I. S. Fate in soil of flavonoids released from white clover (*Trifolium repens* L.). **Applied and Environmental Soil Science**, (1), 743413, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/743413>.

CARMO, M.; RASEIRA, B.; FRANCISCO, J.; PEREIRA, M.; LUIZ, F.; CARVALHO, C.; TÉCNICOS, E. **Cultivo do Pessegueiro**. In: RASEIRA, M. C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Orgs.) 2<sup>o</sup> ed. Embrapa Clima Temperado, 2022. Disponível em: [www.embrapa.br/fale-conosco](http://www.embrapa.br/fale-conosco), Acesso em: 05 mar. 2026

CHAGAS, W. F. T.; EMRICH, E. B.; GUELFY, D. R.; CAPUTO, A. L. C.; FAQUIN, V. Productive characteristics, nutrition and agronomic efficiency of polymer-coated MAP in lettuce crops. **Revista Ciência Agronômica**, 46(2), 266–276, 2015. <http://www.scielo.br/pdf/rca/v46n2/0045-6888-rca-46-02-0266.pdf>.

CHANG, H. Y.; WU, J. R.; GAO, W. Y.; LIN, H. R.; CHEN, P. Y.; CHEN, C. I.; WU, M. J.; YEN, J. H. The cholesterol-modulating effect of methanol extract of pigeon Pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) leaves on regulating LDLR and PCSK9 expression in HepG2 cells. **Molecules**, v. 24, e493, 24(3), 2019. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24030493>

CHERUIYOT, D.; MIDEGA, C. A. O.; PITTCAR, J. O.; PICKETT, J. A.; KHAN, Z. R. Farmers' perception and evaluation of brachiaria grass (*Brachiaria spp.*) genotypes for smallholder cereal-livestock production in east Africa. **Agriculture**, v. 10, 10(7), e268, 2020. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE10070268>.

CIACCI, M. B.; MICHELOUD, N. G.; LEVY, M. R. S.; RODRIGUEZ, M.; IMHOFF, S.; GARIGLIO, N. F. Cover crops improve the vegetative and reproductive traits of peach trees at the semiarid area of El Oasis Sur, Mendoza Province (Argentina). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 25:1723-1730, 2025. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02233-1>

COMIN, J. J.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, M.; KURTZ, C.; MAFRA, A.; LOVATO, P. E.; LOURENZI, C. R.; LOSS, A. **Soil health in no-tillage vegetable production systems-SPDH**. In: MENDES, I. C.; CHERUBIN, M. R. (Orgs.). Soil health and sustainable agriculture in Brazil. 1ed. Nova Jersey: Soil Science Society of America: John Wiley & Sons, v. 3, 2025. p. 208-235.

D'SOUZA, M. R.; DEVARAJ, V. R. Biochemical responses of Hyacinth bean (*Lablab purpureus*) to salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, 32(2), 341–353, 2010. <https://doi.org/10.1007/S11738-009-0412-2/METRICS>.

EVANS, D. O.; JOY, R. J.; CHIA, C. L. **Cover crops for orchards in Hawaii**. In: Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources, 1988. Disponível em: <https://trueleafmarket.com/collections/cover-crop-planting-seeds>. Acesso em: 24 jan. 2026

FALQUET, B.; GFELLER, A.; POURCELOT, M.; TSCHUY, F.; WIRTH, J. Weed suppression by common buckwheat: A review. **Environmental Control in Biology**, 53(1), 1–6, 2015. <https://doi.org/10.2525/ECB.53.1>

FISCHLER, M.; WORTMANN, C. S. Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. **Agroforestry Systems**, 47(1–3), 123–138, 1999. <https://doi.org/10.1023/A:1006234523163/METRICS>

FLORENTÍN, M. A.; BAZZANO, M.G.P.; CALEGARI, A.; DERPSCH, R. (2011). **Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farms**. Plant Production and Protection Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/341193439\\_GREEN\\_MANURECOVER\\_CROPS\\_AND\\_CROP\\_ROTATION\\_IN\\_CONSERVATION\\_AGRICULTURE\\_ON\\_SMALL\\_FARMS](https://www.researchgate.net/publication/341193439_GREEN_MANURECOVER_CROPS_AND_CROP_ROTATION_IN_CONSERVATION_AGRICULTURE_ON_SMALL_FARMS). Acesso em: 24 jan. 2026

FONTÃO DE LIMA, O.; EDMILSON, F.; AMBROSANO, J.; BAHIA, E.; FABRÍCIO, W.; JOSÉ, R.; DONIZETI, A. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática**. In: FONTÃO DE LIMA, O.; AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Orgs.) 2º ed, vol. 1, Embrapa. 2023a. 586p.

FONTÃO DE LIMA, O.; EDMILSON, F.; AMBROSANO, J.; BAHIA, E.; FABRÍCIO, W.; JOSÉ, R.; DONIZETI, A. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática**. In: FONTÃO DE LIMA, O.; AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Orgs.) 2º ed, vol. 2, Embrapa. 2023b.

FRANCAVIGLIA, R.; ALMAGRO, M.; VICENTE-VICENTE, J. L. Conservation agriculture and soil organic carbon: principles, processes, practices and policy options. **Soil Systems**, v. 7, e 17, 7(1), 2023. <https://doi.org/10.3390/SOILSYSTEMS7010017>.

GALDOS, M. V.; BROWN, E.; ROSOLEM, C. A.; PIRES, L. F.; HALLETT, P. D.; MOONEY, S. J. Brachiaria species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. **Scientific Reports**, 10(1), 1–11, 2020. <https://doi.org/10.1038/S41598-020-61986-0>

GARBA, I. I.; STIRLING, G. R.; STIRLING, A. M.; WILLIAMS, A. Cover crop functional types alter soil nematode community composition and structure in dryland crop-fallow rotations. **Applied Soil Ecology**, 194, 105196, 2024. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2023.105196>.

GARCÍA-GUTIÉRREZ, S.; GARCÍA-MARCO, S.; JIMÉNEZ-HORCAJADA, R.; MONTOYA, M.; VALLEJO, A.; GUARDIA, G. Maize residue input rather than cover cropping influenced N<sub>2</sub>O emissions and soil–crop N dynamics during the intercrop and cash crop periods. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 363, 108873, 2024. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2023.108873>.

GARGI, B.; SEMWAL, P.; JAMEEL PASHA, S. B.; SINGH, P.; PAINULI, S.; THAPLIYAL, A.; CRUZ-MARTINS, N. Revisiting the nutritional, chemical and biological potential of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. **Molecules**, v. 27, e6877, 27(20), 2022. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27206877>

GIACALONE, G.; PEANO, C.; ISOCRONO, D.; SOTTILE, F. Are cover crops affecting the quality and sustainability of fruit production? **Agriculture**, v. 11 (12) e1201, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121201>.

GIESKE, M. F.; ACKROYD, V. J.; BAAS, D. G.; MUTCH, D. R.; WYSE, D. L.; DURGAN, B. R. Brassica cover crop effects on nitrogen availability and oat and corn yield. **Agronomy Journal**, 108 (1), 151–161, 2016. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2015.0119>

- GÓMEZ-APARICIO, L.; GARCÍA-VALDÉS, R.; RUÍZ-BENITO, P.; ZAVALA, M. A. Disentangling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change. **Global Change Biology**, 17(7), 2400–2414, 2011. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2486.2011.02421.X>.
- GONZÁLEZ, I. G.; HONTORIA, C.; GABRIEL, J. L.; ALONSO-AYUSO, M.; QUEMADA, M. Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. **Geoderma**, 322, 81–88, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.02.024>.
- HALLAMA, M.; PEKRUN, C.; LAMBERS, H.; KANDELER, E. Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. **Plant and Soil**, 434(1), 7–45, 2018. <https://doi.org/10.1007/S11104-018-3810-7>
- HARTWIG, N. L.; AMMON, H. U. Cover crops and living mulches. **Weed Science**, 50(6), 688–699, 2002. <https://doi.org/10.1614/0043-1745>
- HARUNA, S. I.; NKONGOLO, N. V. Influence of cover crop, tillage, and crop rotation management on soil nutrients. **Agriculture**, v. 10(6), e225, 2020. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE10060225>.
- HILL, N. S.; LEVI, M.; BASINGER, N.; THOMPSON, A.; CABRERA, M.; WALLACE, J.; SAIKAWA, E.; AVRAMOV, A.; MULLICAN, J. White clover living mulch enhances soil health vs. annual cover crops. **Agronomy Journal**, 113(4), 3697–3707, 2021. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.20768>
- HØGH-JENSEN, H.; SCHJOERRING, J. K. Measurement of biological dinitrogen fixation in grassland: Comparison of the enriched <sup>15</sup>N dilution and the natural <sup>15</sup>N abundance methods at different nitrogen application rates and defoliation frequencies. **Plant and Soil**, 166(2), 153–163, 1994. <https://doi.org/10.1007/BF00008328/METRICS>.
- IBGE. **Censo Agropecuário**, 2024. Disponível em: [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364)[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364). Acesso em: 10 mar. 2026.
- IQBAL, Z.; HIRADATE, S.; NODA, A.; ISOJIMA, S. I.; FUJII, Y. Allelopathy of buckwheat: Assessment of allelopathic potential of extract of aerial parts of buckwheat and identification of fagomine and other related alkaloids as allelochemicals. **Weed Biology and Management**, 2(2), 110–115, 2002. <https://doi.org/10.1046/J.1445-6664.2002.00055.X>
- JAKOPIC, J.; VEBERIC, R.; ZUPANCIC, K.; ŠTAMPAR, F. Influence of nitrogen on the contents of carbohydrates and organic acids in apples (*Malus domestica* Borkh.) cv. “Golden Delicious”. **European Journal of Horticultural Science**, 72(2), 66–72, 2007. <https://doi.org/10.1079/EJHS.2007/254545>.
- JIANG, G.; SONG, H.; CHEN, D.; SUN, S.; LI, J.; TU, M.; XU, Z.; GONG, R. Peach-Morchella intercropping mode affects soil properties and fungal composition. **PeerJ** 9:e11705 2021. <https://doi.org/10.7717/peerj.11705>.
- JOSHI, D. R.; SIEVERDING, H. L.; XU, H.; KWON, H.; WANG, M.; CLAY, S. A.; JOHNSON, J. M.; THAPA, R.; WESTHOFF, S.; CLAY, D. E. A global meta-analysis of cover crop response on soil carbon storage within a corn production system. **Agronomy Journal**, 115(4), 1543–1556, 2023. <https://doi.org/10.1002/AGJ2.21340>
- KAMAL, N., TSARDAKAS RENHULDT, N., BENTZER, J., GUNDLACH, H., HABERER, G., JUHÁSZ, A., LUX, T., BOSE, U., TYE-DIN, J. A., LANG, D., VAN GESSEL, N., RESKI, R., FU, Y. B., SPÉGEL, P., CEPLITIS, A., HIMMELBACH, A., WATERS, A. J., BEKELE, W. A.,

COLGRAVE, M. L.; SIRIJOVSKI, N. The mosaic oat genome gives insights into a uniquely healthy cereal crop. **Nature**, 606(7912), 113–119, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04732-y>.

KHAN, Q. A.; MCVAY, K. A. Productivity and stability of multi-species cover crop mixtures in the northern great plains. **Agronomy Journal**, 111(4), 1817–1827, 2019. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2018.03.0173>

KIM, I.-S.; HWANG, C.-W.; YANG, W.-S.; KIM, C.-H.; YANG, W.-S.; KIM, C.-H. M.; ANTIOXIDATIVE, B.; COSTA, G.; TURRINI, F. Multiple antioxidative and bioactive molecules of oats (*Avena sativa* L.) in Human Health. **Antioxidants**, v. 10(9), e-1454, 2021. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX10091454>.

LAWLEY, Y. E.; TEASDALE, J. R.; WEIL, R. R. The mechanism for weed suppression by a forage radish cover crop. **Agronomy Journal**, 104(2), 205–214, 2012. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2011.0128>

LAWLEY, Y. E.; WEIL, R. R.; TEASDALE, J. R. Forage radish cover crop suppresses winter annual weeds in fall and before corn planting. **Agronomy Journal**, 103(1), 137–144, 2011. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2010.0187><https://doi.org/10.2134/AGRONJ2010.0187>

LEONEL, S.; ROBEETO, S. R.; DA SILVA, S. R. Orchard management under climate change. **Horticulture**, 11(1), 98, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010098>.

LI, L.; CHEN, P.; WANG, K.; ZHANG, R.; YUAN, X.; GE, L.; LI, Q.; LIU, Y.; ZHANG, X.; LI, Z. Gramineae-legumes mixed planting effectively reduces soil and nutrient loss in orchards. **Agricultural Water Management**, 289, 108513, 2023. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2023.108513>

LI, L.; ZHANG, R.; HU, Y.; DENG, H.; PEI, X.; LIU, F.; CHEN, C. Impact of Oat (*Avena sativa* L.) on metabolic syndrome and potential physiological mechanisms of action: A current review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 71(41), 14838–14852, 2023. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.3C02304>

LOSCIALE, P.; GAETA, L.; MANFRINI, L.; TARRICONE, L.; CAMPI, P. Orchard floor management affects tree functionality, productivity and water consumption of a late ripening peach orchard under semi-arid conditions. **Applied Sciences**, 10(22), 1–20, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10228135>

LOSS, A.; BATISTAO, A. C.; DUTRA, B. R.; LOSS, M. B. T. **Uso e manejo do solo em pomares: ênfase nas plantas de cobertura**. In: BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; LOSS, A.; NATALE, W. (Orgs.). Estratégias de manejo para melhorar o aproveitamento de nutrientes em frutíferas. 1ed.Santa Maria: Palotti, 2023, v. 1, p. 183-197.

LU, Y. C.; WATKINS, K. B.; TEASDALE, J. R.; ABDUL-BAKI, A. A. Cover crops in sustainable food production. **Food Reviews International**, 16(2), 121–157, 2000. <https://doi.org/10.1081/FRI-100100285>.

MADAIL, J. C. M. **Pêssego: Estatística**. Brasília: EMBRAPA. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pessego/pre-producao/socioeconomia/estatistica>>. Acesso em 24 set 2025.

MADALÃO, J. C.; SOUZA, M. F.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; JAKELAITIS, A.; PEREIRA, G. A. M. Action of *Canavalia ensiformis* in remediation of contaminated soil with sulfentrazone. **Bragantia**, 76(2), 292–299, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.526>

MAPA - Ministério da agricultura e pecuária. **Setor da fruticultura se destaca nas exportações brasileiras**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/setor-de-fruticultura-se-destaca-nas-exportacoes-brasileiras>. . Acesso em 24 set 2025.

MARTINS DE ALMEIDA, L. B.; COELHO, J. B.; UCHOA, M. A.; GISLOTI, L. J. Diversity of fruit flies (Diptera: *Tephritoidea*) and their host plants in a conservation unit from midwestern Brazil. 102(3), 562–570, 2019. <https://doi.org/10.1653/024.102.0333>.

MATSUI, K.; YASUI, Y. Genetic and genomic research for the development of an efficient breeding system in heterostylous self-incompatible common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). **Theoretical and Applied Genetics**, 133(5), 1641–1653, 2020. <https://doi.org/10.1007/S00122-020-03572-6/METRICS>

MEDEIROS, E. V.; SILVA, A. O.; DUDA, G. P.; SANTOS, U. J.; SOUZA JR., A. J. The combination of *Arachis pintoii* green manure and natural phosphate improves maize growth, soil microbial community structure and enzymatic activities. **Plant and Soil**, 435(1–2), 175–185, 2019. <https://doi.org/10.1007/S11104-018-3887-Z/METRICS>.

MENG, Z.; DANG, X.; GAO, Y.; REN, X.; DING, Y.; WANG, M. Interactive effects of wind speed, vegetation coverage and soil moisture in controlling wind erosion in a temperate desert steppe, Inner Mongolia of China. **Journal of Arid Land**, 10(4), 534–547, 2018. <https://doi.org/10.1007/S40333-018-0059-1/METRICS>.

MEYER, L. D.; DABNEY, S. M.; MURPHREE, C. E.; HARMON, W. C.; GRISSINGER, E. H. Crop production systems to control erosion and reduce runoff from upland silty soils. **Transactions of the ASAE**, 42(6), 1645–1652, 1999. <https://doi.org/10.13031/2013.13358>.

MIA, M. J.; MONACI, E.; MURRI, G.; MASSETANI, F.; FACCHI, J.; NERI, D. Soil Nitrogen and weed biodiversity: an assessment under two orchard floor management practices in a nitrogen vulnerable zone in Italy. **Horticulturae**, v. 6 (4), e-96, 2020. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE6040096>.

MURUNGU, F.; CHIDUZA, C.; MUCHAONYERWA, P. Biomass accumulation, weed dynamics and nitrogen uptake by winter cover crops in a warm-temperate region of South Africa. **African Journal of Agricultural Research**, 5(13), 1632–1642, 2010. [http://www.academicjournals.org/ajar/pdf/pdf2010/4Jul/Murungu et al.pdf](http://www.academicjournals.org/ajar/pdf/pdf2010/4Jul/Murungu%20et%20al.pdf).

NAVA, G.; REISSER JÚNIOR, C.; PARENT, L.-É.; BRUNETTO, G.; MOURA-BUENO, J. M.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; BARRETO, C. F. Esmeralda peach (*Prunus persica*) fruit yield and quality response to nitrogen fertilization. **Plants**, 11(3), 352, 2022.

NEILL, S. P.; LEE, D. R.; ERENSTEIN, O.; SAÍN, G.; SHERWOOD, S.; RUBEN, R.; ZUREK, M. Explaining the adoption and disadoption of sustainable agriculture: the case of cover crops in northern Honduras. **Economic Development and Cultural Change**, 49(4), 793–820, 2001. <https://doi.org/10.1086/452525>.

NERI, D.; CRESCENZI, S.; MASSETANI, F.; MANGANARIS, G. A.; GIORGI, V. Current trends and future perspectives towards sustainable and economically viable peach training systems. **Scientia Horticulturae**, 305, 111348, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.111348>.

OLIVEIRA, M. C.; BUTTS, L.; WERLE, R. Assessment of cover crop management strategies in Nebraska, US. **Agriculture**, v. 9(6), 124, 2019. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE9060124>.

OLIVEIRA, S.; COSTA, K. A.; SEVERIANO, E.; SILVA, A.; DIAS, M.; OLIVEIRA, G.; COSTA, J. V. Performance of grain sorghum and forage of the genus brachiaria in integrated agricultural production systems. **Agronomy**, v. 10(11), 1714, 2020. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10111714>.

- OLOFSSON, F.; ERNFORS, M. Frost killed cover crops induced high emissions of nitrous oxide. **Science of The Total Environment**, 837, 155634, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155634>.
- OSIPITAN, O. A.; DILLE, J. A.; ASSEFA, Y.; KNEZEVIC, S. Z. Cover crop for early season weed suppression in crops: Systematic review and meta-analysis. **Agronomy Journal**, 110(6), 2211–2221, 2018. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2017.12.0752>.
- PARVEAUD, C. E.; GOMEZ, C. Effect of White clover (*Trifolium repens* cv. Huia) cover crop on agronomic properties and soil biology in an organic peach orchard. **Acta Horticulturae**, 933, 373–380, 2012. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.933.48>.
- PARVEAUD, C. E.; JACQUOT, M.; ONDET, S. J.; DRUSCH, S.; SZCZECH, M. Effects of cover crops on soil quality and agronomical performances in a peach organic orchard in South-East France. **Acta Horticulturae**, 1(1427), 131–140, 2025. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1427.17>.
- PAULA, B. V. D.; ROZANE, D. E.; SANTOS, E. M. H. D.; VITTO, B. B.; HINDERSMANN, J.; ANTUNES, L. E. C.; NAVA, G.; LOSS, A.; MELO, G. W. B. D.; NICOLOSO, F. T.; BRUNETTO, G. Nitrogen sources in young peach trees in the presence and absence of *Paspalum notatum* co-cultivation. **Agronomy**, 12(11), 2669, 2022.
- PAVINATO, P. S.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. **Agronomy Journal**, 109(3), 1039–1047, 2017. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2016.06.0323>.
- PEREZ, A.; KOGAN, M. Glyphosate-resistant *lolium multiflorum* in Chilean orchards. **Weed Research**, 43(1), 12–19, 2003. <https://doi.org/10.1046/J.1365-3180.2003.00311>
- PILLAI, U. P.; MCGARRY, D. Structure repair of a compacted vertisol with wet-dry cycles and crops. **Soil Science Society of America Journal**, 63(1), 201–210, 1999. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ1999.03615995006300010029X>
- PIMENTEL, L. G.; WEILER, D. A.; PEDROSO, G. M.; BAYER, C. Soil N<sub>2</sub>O emissions following cover-crop residues application under two soil moisture conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 178(4), 631–640, 2015. <https://doi.org/10.1002/JPLN.201400392>
- PROTAS, J. F. DA S; MADAIL, J. C. M. **Sistema de produção de pêssego de mesa na região da serra gaúcha: Características econômicas e sociais da produção de pêssego no Rio Grande do Sul**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pessego/PessegodeMesaRegiaoSerraGaucha/>>. Acesso em 24 set 2025.
- QUINTARELLI, V.; RADICETTI, E.; ALLEVATO, E.; STAZI, S. R.; HAIDER, G.; ABIDEEN, Z.; BIBI, S.; JAMAL, A.; MANCINELLI, R. Cover crops for sustainable cropping systems: A Review. **Agriculture**, v. 12(12), 2076, 2022. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12122076>.
- RAHMAN, M. H.; SAIGA, S. Endophytic fungi (*Neotyphodium coenophialum*) affect the growth and mineral uptake, transport and efficiency ratios in tall fescue (*Festuca arundinacea*). **Plant and Soil**, 272(1–2), 163–171, 2005. <https://doi.org/10.1007/S11104-004-4682-6/METRICS>.
- RAMÍREZ-PARRA, E.; DE LA ROSA, L. Designing novel strategies for improving old legumes: an overview from common vetch. **Plants**, v. 12(6), 1275, 2023. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12061275>.

- RAMOS, M. F.; ALMEIDA, W. R. S.; AMARAL, R. L.; SUZUKI, L. E. A. S. Degree of compactness and soil quality of peach orchards with different production ages. **Soil and Tillage Research**, 219, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105324>
- REDIN, M.; GIACOMINI, S. J.; FERREIRA, P. A. A.; ECKHARDT, D. P. **Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio**. In.: TIECHER, T. (Org.). Manejo e Conservação do Solo e da Água em Pequenas Propriedades Rurais no Sul do Brasil: Práticas Alternativas de Manejo Visando a Conservação do Solo e da Água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 186 p.
- REPULLO-RUIBÉRRIZ DE TORRES, M. A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; GIRÁLDEZ, J. V.; MÁRQUEZ-GARCÍA, J.; LAGUNA, A.; CARBONELL-BOJOLLO, R. Efficiency of four different seeded plants and native vegetation as covers crops in the control of soil and carbon losses by water erosion in olive orchards. **Land Degradation & Development**, 29(8), 2278–2290, 2018. <https://doi.org/10.1002/LDR.3023>.
- RIVIÈRE, C.; BÉTHINGER, A.; BERGEZ, J. E. The effects of cover crops on multiple environmental sustainability indicators—A review. **Agronomy**, v.12(9), 2011, 2022. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12092011>.
- ROBOTHAM, O.; CHAPMAN, M. Population genetic analysis of hyacinth bean (*Lablab purpureus* (L.) Sweet, Leguminosae) indicates an East African origin and variation in drought tolerance. **Genetic Resources and Crop Evolution**, 64(1), 139–148, 2017. <https://doi.org/10.1007/S10722-015-0339-Y/METRICS>.
- ROMDHANE, S.; SPOR, A.; BUSSET, H., FALCHETTO, L.; MARTIN, J.; BIZOUARD, F.; BRU, D.; BREUIL, M. C.; PHILIPPOT, L.; CORDEAU, S. Cover crop management practices rather than composition of cover crop mixtures affect bacterial communities in no-till agroecosystems. **Frontiers in Microbiology**, 10, 431752, 2019. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.01618/BIBTEX>.
- RUARK, M. D.; CHAWNER, M. M.; BALLWEG, M. J.; PROOST, R. T.; ARRIAGA, F. J.; STUTE, J. K. does cover crop radish supply nitrogen to corn? **Agronomy Journal**, 110(4), 1513–1522, 2018. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2017.06.0352>.
- RUFATO, L.; ROSSI, A.; PICOLOTTO, L.; FACHINELLO, J. C. Cover crops manure in the peach orchard (*Prunus persica* L. Batsch) on integrated crop management. **Ciência Rural**, 36(3), 814–821, 2006a. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300014>.
- RUFATO, L.; ROSSI, A.; PICOLOTTO, L.; FACHINELLO, J. C. Plantas de cobertura de solo em pomar de pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch) conduzido no sistema de produção integrada. **Ciência Rural**, 36(3), 814–821, 2006b. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300014>.
- RUFATO, L.; RUFATO, A. R.; KRETZSCHMAR, A. A.; PICOLOTTO, L.; FACHINELLO, J. C. Coberturas vegetais no desenvolvimento vegetativo de plantas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 29(1), 107–109, 2007.
- SALMERÓN, M.; CAVERO, J.; QUÍLEZ, D.; ISLA, R. Winter cover crops affect monoculture maize yield and nitrogen leaching under irrigated Mediterranean conditions. **Agronomy Journal**, 102(6), 1700–1709, 2010. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0180>
- SANDERS, Z. P.; ANDREWS, J. S.; SAHA, U. K.; VENCILL, W.; LEE, R. D.; HILL, N. S. Optimizing agronomic practices for clover persistence and corn yield in a white clover–corn living mulch system. **Agronomy Journal**, 109(5), 2025–2032, 2017. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2017.02.0106>

SATYAVATHI, C. T.; AMBAWAT, S.; KHANDELWAL, V.; SRIVASTAVA, R. K. Pearl millet: A climate-resilient nutricereal for mitigating hidden hunger and provide nutritional security. **Frontiers in Plant Science**, 12, 659938, 2021. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.659938/XML>.

SCAVO, A.; RESTUCCIA, A.; LOMBARDO, S.; FONTANAZZA, S.; ABBATE, C.; PANDINO, G.; ANASTASI, U.; ONOFRI, A.; MAUROMICALE, G. Improving soil health, weed management and nitrogen dynamics by Trifolium subterraneum cover cropping. **Agronomy for Sustainable Development**, 40(3), 2020. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00621-8>.

SCHULZ, M.; MAROCCO, A.; TABAGLIO, V.; MACIAS, F. A.; MOLINILLO, J. M. G. Benzoxazinoids in rye allelopathy - from discovery to application in sustainable weed control and organic farming. **Journal of Chemical Ecology**, 39(2), 154–174, 2013. <https://doi.org/10.1007/S10886-013-0235-X/METRICS>.

SCHUSTER, R.; HOLZER, W.; DOERFLER, H.; WECKWERTH, W.; VIERNSTEIN, H.; OKONOGI, S.; MUELLER, M. Cajanus cajan – a source of PPAR $\gamma$  activators leading to anti-inflammatory and cytotoxic effects. **Food & Function**, 7(9), 3798–3806, 2016. <https://doi.org/10.1039/C6FO00689B>.

SCOTTI, R.; BONANOMI, G.; SCELZA, R.; ZOINA, A.; RAO, M. A. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. **Journal of soil science and plant nutrition**, 15(2), 333–352, 2015. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000031>.

SCURSONI, J. A.; SATORRE, E. H. Barley (*Hordeum vulgare*) and wild oat (*Avena fatua*) competition is affected by crop and weed density. **Weed Technology**, v.19(4), 790–795, 2005. <https://doi.org/10.1614/WT-03-065R.1>.

SERBA, D. D.; YADAV, R. S.; VARSHNEY, R. K.; GUPTA, S. K.; MAHALINGAM, G.; SRIVASTAVA, R. K.; GUPTA, R.; PERUMAL, R.; TESSO, T. T. Genomic designing of pearl millet: a resilient crop for arid and semi-arid environments. **Genomic Designing of Climate-Smart Cereal Crops**, 221–286, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93381-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93381-8_6).

SHARMA, P.; SINGH, A.; KAHLON, C. S.; BRAR, A. S.; GROVER, K. K.; DIA, M.; STEINER, R. L.; SHARMA, P.; SINGH, A.; KAHLON, C. S.; BRAR, A. S.; GROVER, K. K.; DIA, M. STEINER, R. L. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture—A review paper. **American Journal of Plant Sciences**, v.9(9), 1935–1951, 2018. <https://doi.org/10.4236/AJPS.2018.99140>.

SILVA, J. A. G.; PINHO COSTA, K. A.; COSTA SEVERIANO, E. SILVA, A. G.; VILELA, L.; LEANDRO, W. M.; MUNIZ, M. P.; SILVA, L. M.; MAGALHÃES MENDONÇA, K. T. BARROS, V. M. Efficiency of desiccation, decomposition and release of nutrients in the biomass of forage plants of the genus brachiaria after intercropping with sorghum in integrated systems for soybean productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 55(11), 1644–1662, 2024. <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2323076>.

SIMÕES, M. P.; HORTA, M. C.; CANAVARRO, C.; FERREIRA, D.; BATISTA, M.; ROQUE, N.; VIEIRA, F.; SILVINO, P.; RAMOS, C.; FRAGOSO, P.; LOPES, S.; BARATEIRO, A. Soil fertility of peach orchards at installation and first year plant growth. **Acta Horticulturae**, 1289, 151–158, 2020. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2020.1289.22>

SIMS, B.; CORSI, S.; GBEHOUNOU, G.; KIENZLE, J.; TAGUCHI, M.; FRIEDRICH, T. Sustainable weed management for conservation agriculture: Options for smallholder farmers. **Agriculture**, v. 8(8), 118, 2018. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE8080118>.

SINGH, N. K.; SACHAN, K., PANOTRA, N.; KATIYAR, D. Building soil health and fertility through organic amendments and practices: A review. **Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 10(1), 175–197, 2024. <https://doi.org/10.9734/AJSSPN/2024/V10I1224>.

SOFO, A.; CIARFAGLIA, A.; SCOPA, A.; CAMELE, I.; CURCI, M.; CRECCHIO, C.; XILOYANNIS, C.; PALESE, A. M. Soil microbial diversity and activity in a Mediterranean olive orchard using sustainable agricultural practices. **Soil Use and Management**, 30(1), 160–167, 2014. <https://doi.org/10.1111/sum.12097>

STEPHENS, M. J.; FRANCE, C. M.; WRATTEN, S. D.; FRAMPTON, C. Enhancing biological control of leafrollers (Lepidoptera: *Tortricidae*) by Sowing Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) in an orchard. **Biocontrol Science and Technology**, 8(4), 547–558, 1998. <https://doi.org/10.1080/09583159830063>.

SUN, M.; LIU, X.; SHI, K.; PENG, F.; XIAO, Y. Effects of root zone aeration on soil microbes species in a peach tree rhizosphere and root growth. **Microorganisms**, v.10(10), 1879, 2022. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS10101879/S1>.

TANG, Y.; LI, S.; YAN, J.; PENG, Y.; WENG, W.; YAO, X.; GAO, A.; CHENG, J.; RUAN, J.; XU, B. Bioactive components and health functions of oat. **Food Reviews International**, 39(7), 4545–4564, 2023. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2029477>

TASSINARI, A.; SILVA, L. O. S.; DRESCHER, G. L.; OLIVEIRA, R. A.; BALDI, E.; MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; MAYER, N. A.; GIACOMINI, S. J.; CARRANCA, C. L. A. F. FERREIRA, P. A. A.; PAULA, B. V.; LOSS, A.; TOSELLI, M.; BRUNETTO, G. Contribution of cover crop residue decomposition to peach tree nitrogen nutrition. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 21(3), 2124–2136, 2021. <https://doi.org/10.1007/S42729-021-00508-X/TABLES/6>.

TEIXEIRA-LOSS, M. B.; DUTRA, B. R.; TODESCHINI, E. A.; MARCON FILHO, J. L.; BRIGHENTI, A. F.; LOSS, A. **Plantas de cobertura para solos de vinhedos: principais espécies e benefícios edáficos**. In: BRUNETTO, G.; NATALE, W.; ROZANE, D.E.; LOSS, A. (Orgs.). Estratégias de Manejo da Fertilidade do Solo e da Nutrição de Videiras. 1ed.Santa Maria, RS: Gráfica e Editora Pallotti, 2025, v. 1, p. 449-487.

THOMSEN, E.; ASSISTANT, R.; ALSTON, D.; REEVE, J. **Improving organic peach orchard fertility with nitrogen-fixing ground covers in capitol reef national park: A case study**. [https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2585&context=extension\\_curall](https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2585&context=extension_curall). Acesso em: 10 fev. 2026

TIAN, L.; LIU, Y.; MA, Y.; DUAN, J.; CHEN, F.; DENG, Y.; ZHU, H.; LI, Z. Combined role of ground cover management in altering orchard surface–subsurface erosion and associated carbon-nitrogen-phosphorus loss. **Environmental science and pollution research international**, 31(4), 5655–5667, 2024. <https://doi.org/10.1007/S11356-023-31535-Z/METRICS>

TORRES, M. A. R.-R.; MORENO-GARCÍA, M.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; RODRÍGUEZ-LIZANA, A.; RODRÍGUEZ, B. C.; GARCÍA-TEJERO, I. F.; ZUAZO, V. H. D.; CARBONELL-BOJOLLO, R. M. Cover crop contributions to improve the soil nitrogen and carbon sequestration in almond orchards (SW Spain). **Agronomy**, v. 11(2), 387, 2021. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11020387>.

TORRES, M.A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; GIRÁLDEZ, J.V.; MÁRQUEZ-GARCÍA, J.; LAGUNA, A.; CARBONELL-BOJOLLO, R. Efficiency of four different seeded plants and native vegetation as cover crops in the control of soil and carbon losses by water erosion in olive orchards. **Land Degrad**, 29, 2278–2290, 2018.

TOSTI, G.; BENINCASA, P.; FARNESELLI, M.; PACE, R.; TEI, F.; GUIDUCCI, M.; THORUP-KRISTENSEN, K. Green manuring effect of pure and mixed barley – hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. **European Journal of Agronomy**, 43, 136–146, 2012. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2012.06.004>.

TUMAJER, J.; BEGOVIĆ, K.; ČADA, V.; JENICEK, M.; LANGE, J.; MAŠEK, J.; KACZKA, R. J.; RYDVAL, M.; SVOBODA, M.; VLČEK, L.; TREML, V. Ecological and methodological drivers of non-stationarity in tree growth response to climate. **Global Change Biology**, 29(2), 462–476, 2023. <https://doi.org/10.1111/GCB.16470>

TUNGMUNNITHUM, D.; HANO, C. Cosmetic potential of *Cajanus cajan* (L.) Millsp: Botanical data, traditional uses, phytochemistry and biological activities. **Cosmetics**, v.7(4), 84, 2020. <https://doi.org/10.3390/COSMETICS7040084>.

TURSUN, N.; IŞIK, D. G.; DEMIR, Z; JABRAN, K. Use of living, mowed, and soil-incorporated cover crops for weed control in apricot orchards. **Agronomy**, v8(8), 150, 2018. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY8080150>.

TWORKOSKI, T. J.; GLENN, D. M. Yield, shoot and root growth, and physiological responses of mature peach trees to grass competition. *Crop Production Hortscience*, 36(7), 1214–1218, 2001. <https://journals.ashs.org>.

UGRENOVIĆ, V.; POPOVIĆ, V.; UGRINOVIĆ, M.; FILIPOVIĆ, V.; MAČKIĆ, K.; LJUBIČIĆ, N.; POPOVIĆ, S.; LAKIĆ, Ž.. Black Oat (*Avena strigosa* Schreb.) Ontogenesis and agronomic performance in organic cropping system and pannonian environments. *Agriculture*, v.11(1), 55, 2021. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11010055>.

VAN HECKE, M. M.; TREONIS, A. M.; KAUFMAN, J. R. How does the fungal endophyte *Neotyphodium coenophialum* affect tall fescue (*Festuca arundinacea*) rhizodeposition and soil microorganisms? **Plant and Soil**, 275(1–2), 101–109, 2005. <https://doi.org/10.1007/S11104-005-0380-2/METRICS>

VISCONTI, F.; LÓPEZ, R.; OLEGO, M. Â. Special issue: Sustainable viticulture: Soil fertility, plant nutrition and grape quality. **Horticulture**, 11(6), 649. 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11060649>.

VUKICEVICH, E.; LOWERY, T.; BOWEN, P.; ÚRBEZ-TORRES, J. R.; HART, M. Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 36(3), 1–14, 2016. <https://doi.org/10.1007/S13593-016-0385-7>.

WANG, Q.; LIU, J.; ZHU, H. Genetic and molecular mechanisms underlying symbiotic specificity in legume-rhizobium interactions. **Frontiers in Plant Science**, 9, 334639, 2018. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.00313/BIBTEX>.

WEBBER, S. M.; BAILEY, A. P.; HUXLEY, T.; POTTS, S. G.; LUKAC, M. Traditional and cover crop-derived mulches enhance soil ecosystem services in apple orchards. **Applied Soil Ecology**, 178, 104569, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.APSTOIL.2022.104569>.

WELKER, W. V; GLENN, D. M. Growth responses of young peach trees and changes in soil characteristics with sod and conventional planting systems. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 113(5), 652–656, 1988. <https://journals.ashs.org>.

WHITE, C. M.; WEIL, R. R. Forage radish and cereal rye cover crop effects on mycorrhizal fungus colonization of maize roots. **Plant and Soil**, 328(1), 507–521, 2010. <https://doi.org/10.1007/S11104-009-0131-X/METRICS>.

WHITE, C. M.; WEIL, R. R. Forage radish cover crops increase soil test phosphorus surrounding radish taproot holes. **Soil Science Society of America Journal**, 75(1), 121–130, 2011. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2010.0095>.

- WORTMAN, S. E.; FRANCIS, C. A.; BERNARDS, M. L.; DRIJBER, R. A.; LINDQUIST, J. L. Optimizing cover crop benefits with diverse mixtures and an alternative termination method. **Agronomy Journal**, 104(5), 1425–1435, 2012. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2012.0185>
- XIA, G.; CHENG, L.; LAKSO, A.; GOFFINET, M. Effects of nitrogen supply on source-sink balance and fruit size of “Gala” Apple Trees. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 134, 126–133, 2009.
- XIE, X.; LIN, M.; XIAO, G.; LIU, H.; WANG, F.; LIU, D.; MA, L.; WANG, Q.; LI, Z. Phenolic amides (avenanthramides) in oats—an update review. **Bioengineered**, 15(1), 2024. <https://doi.org/10.1080/21655979.2024.2305029>
- YAMADA, T.; FORSTER, J. W.; HUMPHREYS, M. W.; TAKAMIZO, T.; TOSHIHIKO YAMADA, C. Genetics and molecular breeding in *Lolium/Festuca* grass species complex. **Grassland Science**, 51(2), 89–106, 2005. <https://doi.org/10.1111/J.1744-697X.2005.00024.X>.
- YANG, J.; ZHANG, T.; ZHANG, R.; HUANG, Q.; LI, H. Long-term cover cropping seasonally affects soil microbial carbon metabolism in an apple orchard. **Bioengineered**, 10(1), 207–217, 2019. <https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1622991>.
- YOUSEFI, M.; DRAY, A.; GHAZOU, J. Assessing the effectiveness of cover crops on ecosystem services: a review of the benefits, challenges, and trade-offs. **International Journal of Agricultural Sustainability**, 22(1), 2024. <https://doi.org/10.1080/14735903.2024.2335106>
- YU, Y.; LOISKANDL, W.; KAUL, H. P.; HIMMELBAUER, M.; WEI, W., CHEN, L.; BODNER, G. Estimation of runoff mitigation by morphologically different cover crop root systems. **Journal of Hydrology**, 538, 667–676, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2016.04.060>.
- YUNAS, M.; RAHIM, M.; BIBI, R.; MAHMOOD AULAKH, A.; NASEEM, W.; NAUREEN MALIK, S.; AHMAD RIZVI, S. Boosting peach production in rainfed areas of punjab through mulching techniques. **Journal of Applied Research in Plant Sciences**, 5(2), 219–225, 2024. <https://doi.org/10.38211/joarps.2024.05.263>.
- ZHANG, H.; GUO, D.; LEI, Y.; LOZANO-TORRES, J. L.; DENG, Y.; XU, J. HU, L. Cover crop rotation suppresses root-knot nematode infection by shaping soil microbiota. **New Phytologist**, 245(1), 363–377, 2025. <https://doi.org/10.1111/NPH.20220>
- ZHAO, R.; ZHANG, Q.; TJUGITO, H.; CHENG, X. Raindrop impact on a sandy surface. **Physics of Fluids**, 27(9), 2015. <https://doi.org/10.1063/1.4930917>.
- ZOU, Y.; LIU, Z.; CHEN, Y.; WANG, Y.; FENG, S. Rotation and diversification in China: Enhancing sustainable agriculture and resilience. **Agriculture**. v14(9), 1465, 2024. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE14091465>.

MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PESSEGUIEROS



## *Capítulo 12*

# **Perspectivas futuras relacionadas a estimativa do estado nutricional, calagem e adubação em pomares de pessegueiros**

Gustavo Brunetto<sup>(1)</sup>  
Paola Daiane Welter<sup>(2)</sup>  
Danilo Eduardo Rozane<sup>(3)</sup>  
Leandro Hahn<sup>(4)</sup>  
William Natale<sup>(5)</sup>

### **Resumo**

O cultivo de pêssegos se caracteriza, na maioria dos casos, como uma atividade de elevada rentabilidade. Entretanto, as produtividades obtidas ainda são inferiores às registradas em países tradicionalmente produtores da fruta, além da qualidade nem sempre atender aos requisitos necessários para permitir transporte e armazenamento por períodos prolongados. Esse cenário é agravado pelo fato de que grande parte dos solos utilizados na persicultura são ácidos e apresentam baixa fertilidade natural. Assim, torna-se indispensável a aplicação de corretivos de acidez e fertilizantes, com o objetivo de melhorar as propriedades químicas do

---

<sup>(1)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

<sup>(2)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Produção Vegetal. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (Bolsista PDJ), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: paoladwelter@gmail.com

<sup>(3)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Registro, SP, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: danilo.rozane@unesp.br

<sup>(4)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutora em Ciência do Solo. Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (Epagri), Estação Experimental de Urussanga, Urussanga, SC, Brasil. E-mail: leandrohahn@epagri.sc.gov.br

<sup>(5)</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), bolsista do CNPq junto a Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará, CE, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: natale@ufc.br

solo, promover o crescimento adequado das plantas, elevar a produtividade e assegurar características de qualidade dos frutos compatíveis com longos períodos de armazenamento e comercialização. No entanto, o alcance simultâneo desses objetivos ainda representa um desafio técnico. Diante desse contexto, este capítulo resgata conhecimentos já consolidados e fundamentais para a cadeia produtiva do pêssego que necessitam ser efetivamente aplicados no sistema produtivo. Ademais, são discutidas demandas que devem ser observadas, investigadas e incorporadas, visando a construção de uma persicultura futura caracterizada por alta produtividade, frutos com padrões qualitativos adequados e reduzido potencial de impacto ambiental.

**Palavras-chave:** Persicultura, inovação no uso de corretivos e fertilizantes, produtividade, frutos com qualidade.

## **1. Introdução**

A fruticultura, devido às suas peculiaridades, se apresenta como uma estratégia de exploração durável das terras, mostrando elevada viabilidade produtiva (maior rendimento por hectare), econômica (maior renda por área cultivada), social (maior oferta de empregos) e ambiental (sistema sustentável: exploração de longo prazo; a mobilização do solo cessa após a implantação; acréscimo de matéria orgânica; e, aumento da atividade biológica).

No Brasil, os solos das regiões cultivados com plantas frutíferas são bastante variados em relação à textura e, na grande maioria dos casos, têm reação ácida e baixa fertilidade natural. Assim, compreender os mecanismos envolvidos na dinâmica desses solos é de suma importância para manejá-los adequadamente, visando atender à demanda da cultura e, por consequência, atingir maiores produtividades.

Um dos pilares para alcançar o sucesso na atividade frutícola é o fornecimento equilibrado de nutrientes ao pomar. A fim de atingir esse objetivo, um dos grandes desafios é realizar a correta avaliação da fertilidade do solo e do

estado nutricional da cultura, o que possibilitará implementar manejos racionais. O uso excessivo ou reduzido de insumos no pomar, além de comprometer o rendimento final e a qualidade dos frutos, afeta os custos de produção, podendo resultar em contaminação do ambiente. Considerando a existência de relações causais entre a concentração de nutrientes no solo e os teores foliares, entre os teores foliares e a produtividade das plantas e, entre os teores foliares e a qualidade dos frutos colhidos, os resultados das análises de solo e de folhas permitem estabelecer programas coerentes de calagem, gessagem e adubação, bem como ajustes durante o ciclo da cultura (Raij, 1991). Entretanto, existem muitos fatores que interferem nas relações solo-planta.

A fruticultura comercial exige cada vez mais profissionalismo, pois o acesso aos mercados, tanto interno como externo, depende do atendimento das expectativas dos consumidores. As pesquisas sobre as exigências nutricionais do pessegueiro têm buscado estabelecer manejos adequados à obtenção de produtividades elevadas e frutos com as características organolépticas desejadas comercialmente. Para tanto, é necessário compreender melhor as demandas em elementos essenciais durante o ciclo da cultura, ou seja, a cinética de absorção, o que permite sincronizar a disponibilidade dos nutrientes no solo, com as necessidades da planta, a fim de fornecer todos os elementos essenciais nas diversas fases fenológicas, o que eleva a eficiência de aproveitamento dos insumos.

## **2. Perspectivas relacionadas à calagem e à gessagem**

Com o objetivo de reforçar a importância da calagem e da gessagem nas condições brasileiras, serão discutidos resultados dessas práticas agrícolas em pomares de algumas frutíferas, com ênfase em pessegueiros. Apesar das poucas informações relacionadas ao pessegueiro, os experimentos conduzidos com outras plantas perenes permitem recomendar aos profissionais da área agrônoma que adotem e ajustem as metodologias a serem utilizadas na persicultura, até que a

pesquisa consolide resultados para o setor. Com essa perspectiva, espera-se que num futuro próximo, toda cadeia produtiva do pêssego se beneficie, aprimorando o manejo do solo e a nutrição dos pomares.

O cálcio (Ca) e o potássio (K) têm teores similares no tecido foliar do pessegueiro, sendo os mais abundantes depois do nitrogênio (N) (CQFS-RS/SC, 2016; Melo et al., 2016). Apenas essa informação já indica a relevância de práticas agrícolas como a calagem, cujo objetivo é incrementar as concentrações de Ca nos solos dos pomares dessa frutífera, além de corrigir a acidez. Nunca é demais lembrar que a grande maioria dos solos do Brasil apresenta reação ácida, o que confere características desfavoráveis ao desenvolvimento das culturas, sendo a calagem o modo mais rápido e barato de sanar esse problema (Raij, 2011).

Apesar da calagem ser reconhecidamente benéfica em condições de solo ácido, nem sempre essa prática é realizada, ou o é de modo inadequado e, portanto, ineficaz. A aplicação de corretivos de acidez em culturas anuais, com incorporação homogênea ao solo, é realizada comumente pelos agricultores, ainda que não com a regularidade devida. Entretanto, em culturas perenes, como a maioria das frutíferas, a aplicação/incorporação de calcário é mais complexa, devido às características intrínsecas de perenidade das árvores (Quaggio, 2000).

Uma vez calculada a dose de corretivo é importante ressaltar que os calcários comuns têm baixa solubilidade, necessitando de tempo para reagir e cumprir seu papel de neutralizar a acidez. Assim, nos pomares em implantação, o corretivo deve ser aplicado em área total com, no mínimo, 90 dias de antecedência ao plantio das mudas. Aplicações de corretivo somente no sulco de plantio ou na cova não são recomendadas, devido a pequena porção de solo que é beneficiada, o que restringe a proliferação do sistema radicular das mudas recém-implantadas. A incorporação homogênea do calcário ao solo é, também, fundamental para sua reação, que exige contato entre as partículas do corretivo e a fonte de acidez. O cálculo da dose pelos métodos do Índice SMP ou da saturação por bases estabelece a incorporação na camada arável. Entretanto, o sistema radicular das frutíferas

explora volumes maiores de solo, sendo recomendado incorporar até 30 cm, elevando a dose em 50 % ou, ainda, até 40 cm, aumentando a dose em 100 %. Na fase de implantação dos pomares, deve-se dar preferência aos calcários com granulometria mais grosseira (PRNT menor que 60%), devido ao seu maior efeito residual, uma vez que, estabelecido o pomar, cessa a possibilidade de mobilizar o solo, a fim de evitar danos ao sistema radicular da cultura, além de disseminar patógenos presentes na área (Natale et al., 2012).

No caso dos pomares já implantados e naqueles em produção, a aplicação de corretivo poderá ser realizada apenas na faixa (projeção da copa – região da adubação), apenas na entrelinha ou, em área total no pomar. Essa decisão deverá ser tomada mediante a verificação dos resultados da análise de solo de cada local, realizadas a cada ciclo; contudo, em qualquer situação, a aplicação deve ser superficial, sem incorporação. Manter a acidez sob controle, tanto na linha como na entrelinha do pomar traz benefícios, pois o pessegueiro poderá explorar, também a entrelinha, aproveitando água e nutrientes. Conforme relataram Quaggio (2000) em citros, Natale et al. (2007) em goiabeiras e Natale et al. (2008) em caramboleira, houve melhores correlações entre o Ca e o Mg presentes no solo das entrelinhas dos pomares e aqueles determinados nas folhas das frutíferas, indicando a exploração do solo das ruas pelas frutíferas. Diferentemente da fase de implantação, recomenda-se aplicar calcário com granulometria fina (PRNT maior que 80 %), devido à maior facilidade de caminhamento das partículas do corretivo no perfil do solo. A pesquisa realizada por Corrêa et al. (2018), em pomar comercial adulto de goiabeiras, instalado sobre Argissolo Vermelho-Amarelo no estado de São Paulo, indicou que a calagem superficial, com calcário comum (PRNT de 80 %) ou calcário calcinado (PRNT de 131 %), reduziu a acidez do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de forma proporcional às doses aplicadas. Na camada de 10-20 cm, observou-se redução da acidez após 6 a 12 meses da calagem com o calcário calcinado e, após 24 meses da aplicação, com o calcário comum. Em outro ensaio, Silva et al. (2007) trabalharam em um pomar adulto de laranja

Pêra, instalado sobre um Latossolo Vermelho. Empregaram-se cinco doses de calcário calcinado (PRNT de 131 %), distribuído superficialmente, sem incorporação. Concluiu-se que a aplicação do insumo elevou a saturação por bases (V%) nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-40 cm, proporcionalmente às doses empregadas. Pelos resultados obtidos, o período compreendido entre 12 e 18 meses foi aquele no qual ocorreu a máxima reação do corretivo nas camadas subsuperficiais.

Conforme informado anteriormente a aplicação superficial de corretivo, sem incorporação, tem por objetivo evitar danos ao sistema radicular das frutíferas, evitando a disseminação de patógenos na área. Os experimentos de Silva et al. (2007) e Corrêa et al. (2018) confirmam que, mesmo com a aplicação na superfície, há correção da acidez nas camadas subsuperficiais ao longo do tempo. Evitar danos as raízes do pessegueiro têm, ainda, outro objetivo. Segundo Toselli et al. (2022), parte dos nutrientes acumulados nos órgãos de reserva, como as raízes, podem ser remobilizados e redistribuídos no próximo ciclo vegetativo-produtivo. No pessegueiro, por exemplo, estima-se que cerca de 50 % do N presente nas folhas, equivalente a cerca de 30 kg ha<sup>-1</sup>, seja translocado para as estruturas de reserva durante a senescência das folhas. Desse modo, se houver danos ao sistema radicular haverá prejuízos nesse processo.

Por outro lado, os corretivos de acidez têm, em geral, baixa solubilidade e, se aplicados superficialmente, sem incorporação, apesar da movimentação descendente, a reação de neutralização pode não ser suficiente para melhorar o ambiente do solo amplamente explorado pelas raízes das frutíferas perenes em fase de produção, como o pessegueiro. Com isso, a presença do Al tóxico na subsuperfície, associada às baixas concentrações de Ca no solo, podem ser barreiras químicas limitantes ao crescimento radicular da cultura e resultar em diminuição da produtividade. Em função disso, abre-se espaço para outra prática agrícola, a gessagem, cujos benefícios na subsuperfície permitem que culturas perenes, com amplo e robusto sistema radicular, explorem o solo em maiores

profundidades. O gesso apresenta maior solubilidade e mobilidade no perfil do solo, quando comparado ao calcário, não havendo necessidade de incorporação, o que é de extrema importância nos pomares já instalados, evitando a mobilização do solo e os eventuais danos mecânicos ao sistema radicular. O gesso realiza a complexação do  $Al^{3+}$ , mas pouco afeta o pH do solo, não mais do que 0,3 unidades, mesmo quando aplicado em doses elevadas, pois sua reação no solo não libera íons oxidrila ou carbonato (Meurer, 2006). Assim, a técnica da gessagem não substitui a calagem, visto não ter praticamente efeito sobre a correção da acidez do solo.

No curso da evolução do manejo dos solos, o Homem tem utilizado a calagem há milhares de anos, ainda que de forma empírica inicialmente e, a adubação mineral, há pelo menos dois séculos. Por outro lado, a gessagem, empregando o subproduto da fabricação de fertilizantes fosfatados, é recente no Brasil. Ambas as práticas, correção da acidez e fertilização, foram aperfeiçoadas ao longo do tempo e hoje têm bases sólidas para a recomendação das doses dos insumos. No caso da gessagem, o processo está em curso e, para algumas culturas, os resultados são promissores. Entretanto, na fruticultura há poucas pesquisas no País e os resultados são incipientes, devido a necessidade de experimentação de longo prazo e da influência do clima sobre as plantas. Porém, determinar economicamente e com precisão técnica a dose de gesso a ser aplicada em cada situação é fundamental, devendo o uso ser baseado na análise de solo, no diagnóstico nutricional e em suas interpretações. Assim, a pesquisa deverá mapear os entraves para o emprego do gesso, buscar as oportunidades em cada cultura e tipo de solo e apresentar soluções.

Nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina não há recomendação ou diretrizes oficiais para o uso do gesso (CQFS-RS/SC, 2016). Assim, até que a pesquisa defina critérios técnicos para a região, sugere-se utilizar aquela empregada no estado de São Paulo (Raij et al., 1997), que indica que a gessagem só deve ser praticada sob condições particulares: quando a análise de solo da

camada de 20-40 cm revelar concentrações de Ca inferiores a  $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e de  $\text{Al}^{3+}$  superiores a  $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e/ou saturação por alumínio ( $m$ ) acima de 40 %, cuja dose é calculada de acordo com a fórmula:

$$\text{NG (t ha}^{-1}\text{)} = \text{argila (\%)} \times 60 \quad \text{(Equação 1)}$$

em que: NG é a necessidade de gesso em  $\text{t ha}^{-1}$ ; argila em % na camada de 20-40 cm do solo.

Como alternativa à prática da gessagem pode-se empregar o superfosfato simples, quando das adubações com fósforo. Isso porque esse adubo fosfatado tem em sua composição quantidade significativa de gesso, levando ao solo Ca, S e complexando o alumínio tóxico (Natale & Rozane, 2018).

### **3. Perspectivas relacionadas à adubação**

O cultivo do pessegueiro no Brasil, embora relevante, apresenta rendimento médio relativamente baixo ( $12,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) (IBGE, 2024), valor substancialmente inferior ao observado em países tradicionalmente produtores, como Itália, França e alguns estados dos Estados Unidos da América, cujas produtividades podem duplicar as brasileiras (FAOSTAT, 2025). Diante desse cenário, além dos avanços em melhoramento genético e manejo fitossanitário, um dos principais desafios reside na otimização da disponibilidade e do aproveitamento de nutrientes, de modo a elevar o desempenho agrônomo das cultivares e aumentar a produtividade por área. Essa demanda torna imprescindível a definição de valores de referência regionais para a cultura, capazes de refletir as condições edafoclimáticas e de conferir maior resiliência ao cultivo frente às mudanças climáticas, fenômeno particularmente crítico na região Sul do Brasil.

A pressão global sobre as reservas de nutrientes utilizados na síntese de fertilizantes minerais, sobretudo fósforo (P) e potássio (K), reforça a necessidade de uso mais eficiente desses insumos nos sistemas agrícolas (Cordell et al., 2009). Mesmo para o nitrogênio (N), cuja abundância atmosférica é elevada, o alto custo energético associado ao processo industrial de fixação representa uma limitação

relevante (Malavolta, 1981). No contexto brasileiro, a fertilização representa de 20 a 30% do custo de produção de pomares, mas apenas 60% do N, 50% do P e 70% do K aplicados são efetivamente aproveitados (Malavolta 1981; Roy et al., 2016). Em resposta a essa ineficiência, intensificam-se estudos voltados ao aprimoramento das ferramentas agrônômicas, como análises de solo e tecido, combinadas à incorporação de tecnologias no desenvolvimento de fertilizantes e de recursos digitais, que permitam identificar e suprir de forma mais precisa as necessidades nutricionais dos pomares, considerando atributos de solo, planta e clima.

Inicialmente, sempre que possível, o mais adequado é o uso de porta-enxertos e cultivares mais eficientes na absorção de nutrientes. Estudos em pessegueiro, e também em outras espécies frutíferas, demonstram que diferenças entre cultivares e porta-enxertos alteram a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes, mesmo sob condições ambientais semelhantes (Sharpe et al., 1989; Rozane et al., 2015, 2016; Parent et al., 2013b). Essas diferenças refletem variações fisiológicas e ontogenéticas que modulam o equilíbrio nutricional (Rozane et al., 2015; Lima Neto et al., 2020; Yamane et al., 2022). No pessegueiro, o porta-enxerto é determinante para o volume radicular, a eficiência de absorção e o vigor, porém a seleção tem se concentrado predominantemente em atributos morfológicos e fitossanitários, enquanto características de eficiência nutricional permanecem pouco exploradas (Mayer, Ueno & Neves, 2018; Souza et al., 2019; Menegatti et al., 2021). Considerando a heterogeneidade espacial dos solos agrícolas, torna-se crucial avançar para plataformas de fenotipagem multinutriente que integrem desempenho fisiológico, cinética de absorção e características edáficas, subsidiando a seleção de genótipos mais eficientes (Fiorani & Schurr, 2013; Rouphael & Colla, 2020). A longo prazo, a identificação de alelos funcionais e o uso de ferramentas como CRISPR-Cas9 tendem a acelerar a obtenção de porta-enxertos superiores (Waltz, 2018).

Além disso, o manejo moderno de pomares, incluindo os de pessegueiro, evolui para sistemas mais eficientes, integrados e tecnologicamente avançados, alinhados às exigências crescentes de sustentabilidade e adaptação climática. Nesse contexto, a pesquisa tem se afastado de recomendações genéricas e passado a desenvolver ferramentas baseadas em bancos de dados regionais robustos, integrando análises de solo e tecido georreferenciadas, histórico de manejo, produtividade e variáveis climáticas. A construção dessas bases de dados é crucial para a definição dos níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes no solo e no tecido (Nava et al., 2025; Stefanello et al., 2023; Trapp et al., 2025), que dependem de relações de causa e efeito entre disponibilidade de nutrientes e desempenho produtivo, historicamente obtidas por experimentos de calibração de longa duração. Entre os métodos para proposição de NC e FS destaca-se a Linha de Fronteira (LF) (Walworth et al., 1986; Webb, 1972), amplamente aplicada para identificar o desempenho máximo da cultura, em função das concentrações de nutrientes no solo e no tecido vegetal, diferenciando situações limitantes (Brancourt-Hulmel et al., 1999) e permitindo definir o NC e a FS para espécies distintas (Deus et al., 2018; Lark et al., 2019; Manorama et al., 2021; Nava et al., 2022; Andrade et al., 2023; Stefanello et al., 2023). A função linear-plateau (LP), utilizada na construção da LF (Makowski et al., 1999; Theobald & Talbot, 2002), permite estimar o ponto a partir do qual o aumento no teor de nutrientes não incrementa mais a produtividade, sendo particularmente relevante em frutíferas perenes, como pessegueiro. Avanços recentes incluem modelos de Regressão Quantílica Bayesiana com Ponto de Inflexão (RQBPI), capazes de fornecer uma visão completa da relação “produtividade da cultura *versus* concentração de nutriente no solo e no tecido vegetal”, permitindo não apenas o cálculo do seu valor mais provável, como também a definição de uma FS (Liang et al., 2019, 2021; Ellison, 1996), integrando bases de dados já existentes e resultados de pesquisas anteriores, derivados de experimentos de calibração de doses de nutrientes de longa duração ou mesmo dados de áreas comerciais (Moura-Bueno et

al., 2022; Andrade et al., 2023). Portanto, a evolução metodológica aponta para um futuro em que a adubação será cada vez mais guiada por modelos preditivos robustos, capazes de sustentar decisões mais eficientes, resilientes e ambientalmente responsáveis.

Adicionalmente, novas metodologias vêm contribuindo de forma complementar no entendimento das reais exigências das frutíferas, incluindo o pessegueiro, com intuito de refinar as recomendações nutricionais em termos de dose, fonte, época e modo de aplicação. Além dos estudos tradicionais de calibração, necessários regionalmente e que permitem definir as doses de máxima eficiência técnica em relação à produtividade ou variáveis de qualidade de frutos, são necessários estudos para determinar as melhores épocas de aplicação do nutriente, bem como as fontes mais adequadas de fertilizantes. No caso do N, pode-se destacar os estudos com o uso de isótopos de  $^{15}\text{N}$ , empregando fertilizantes enriquecidos, o que permite rastrear com precisão o destino do nutriente no sistema planta-solo, assim como a quantificação da absorção e redistribuição do N nos diferentes órgãos, ao longo dos ciclos (De Paula et al., 2021; Brunetto et al., 2024a; Brunetto et al., 2024b). Paralelamente, métodos inovadores de diagnóstico, como o CND (*Compositional Nutrient Diagnosis*), têm avançado significativamente (maiores detalhes sobre esse tema serão fornecidos no tópico 5 deste capítulo).

A incorporação de tecnologias digitais e a automação apoiada em máquinas inteligentes, sensores, drones, visão computacional e computação em nuvem, tem aumentado a precisão operacional e a possibilita reduzir perdas de nutrientes e os possíveis impactos ambientais (Ku & Serna, 2023). A agricultura de precisão viabiliza o manejo localizado de fertilizantes, elevando a eficiência de uso desse insumo. Em paralelo, avanços em fertilizantes incluem o desenvolvimento de produtos mais solúveis ou com mecanismos de liberação sincronizada com a demanda das plantas, reduzindo perdas, principalmente, por lixiviação e volatilização (Brunetto et al., 2016; Wu et al., 2019; Colpaert et al., 2021).

Tecnologias como adubos de liberação lenta ou controlada, encapsulamento, recobrimento com polímeros e formulações nanoestruturadas têm ampliado a eficiência agrônômica (Zhang et al., 2014; Wei et al., 2020). Inibidores como NBPT e DMPP reduzem perdas de N por volatilização e lixiviação (Silva et al., 2017; Liu et al., 2019; Quemada & Gabriel, 2016; Wang et al., 2022). Estudos com nanofertilizantes mostram avanços promissores, como maior reatividade e absorção, redução de doses e melhorias na qualidade dos frutos, com resultados expressivos em espécies frutíferas como a romã (Batsmanova et al., 2013; Davarpanah et al., 2016; Fatima et al., 2022), indicando potencial de aplicação futura em outras espécies, inclusive o pessegueiro.

Por fim, além da adoção de práticas agrícolas que aumentem os teores de matéria orgânica do solo nos pomares, como o uso de resíduos orgânicos, plantas de cobertura e não revolvimento da área, a adoção de fertilizantes orgânicos ou ainda organominerais tende a assumir um papel relevante nos próximos anos, especialmente por sua capacidade de intensificar a atividade microbiana e melhorar a estruturação do solo, ampliando a retenção de água, a ciclagem e a disponibilidade de nutrientes (Chai et al., 2020). A valorização da microbiota do solo torna-se, assim, um eixo estratégico das novas fronteiras da adubação, uma vez que comunidades microbianas funcionais são determinantes para sustentar a fertilidade e a resiliência das frutíferas diante de estresses associados às mudanças climáticas. Paralelamente, cresce a expectativa em torno dos bioestimulantes, cuja pesquisa, embora ainda incipiente para frutíferas, avança rapidamente em sistemas agrícolas devido a capacidade desses compostos de modular respostas bioquímicas, fisiológicas e moleculares, elevando a eficiência de uso dos nutrientes, a tolerância ao estresse abiótico e o desempenho produtivo das plantas (Basile et al., 2020). Esses avanços indicam que as futuras estratégias de adubação tendem a ser cada vez mais integradas, biocentradas e voltadas para a melhoria simultânea da produtividade, da qualidade dos frutos e da sustentabilidade dos pomares.

#### **4. Perspectivas relacionadas a adubação foliar**

Solos cultivados com frutíferas no mundo podem ser ácidos e nem sempre fornecerem as quantidades de nutrientes que as frutíferas necessitam. Por isso, corretivos da acidez do solo e fertilizantes são aplicados via solo em pomares. Porém, algumas vezes, os solos e/ou a camada de maior concentração radicular estão alcalinos. Assim, parte dos nutrientes aplicados, por exemplo, ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), entre outros, podem ser complexados e precipitados. Quando isso acontece, os nutrientes não serão absorvidos pelo sistema radicular das frutíferas e as plantas poderão apresentar sintomatologia de deficiência de nutrientes, o que poderá inclusive diminuir a produtividade e prejudicar a qualidade de frutos. Além disso, se ocorrer restrição hídrica para a cultura, haverá menor aproximação de nutrientes até a superfície externa das raízes, diminuindo a probabilidade de absorção (Chapman et al., 2012). Adicionalmente, alguns nutrientes podem ser perdidos (por exemplo, lixiviação, escoamento superficial, volatilização, etc.) mais facilmente no solo e, por essa razão, alternativamente poderiam ser aplicados via foliar ou nos frutos. Quando a aplicação for direcionada ao fruto, inclusive, o termo mais adequado para definir essa operação seria adubação no fruto ou aplicação via fruto. Por outro lado, algumas vezes os nutrientes são absorvidos pelas raízes, mas nem sempre são transportados, na quantidade adequada, até órgãos-dreno, como folhas e, especialmente, frutos (Brunetto et al., 2015; Zipori et al., 2020). Assim, muitas vezes, os frutos apresentam distúrbios fisiológicos causados pelo baixo teor de um ou mais nutrientes. Exemplo disso é a incidência de ‘bitter pit’ em maçãs, devido ao limitado teor de cálcio (Ca) nos tecidos do fruto (Brackmann & Ribeiro, 1992; Amarante et al., 2011), especialmente no período final de enchimento celular, ou, também, a queima e rachadura de frutos por falta de Ca, associadas ao excesso de nitrogênio (N) e de potássio (K) (São José et al., 2014).

Para que a estratégia da adubação via foliar ou fruto tenha sucesso é necessário compreender a estrutura anatômica do tecido alvo, a maneira como os

nutrientes penetram nele, bem como quais outros fatores (por exemplo, as características da solução aplicada, ambientais, as associação com agentes molhantes ou surfactantes; o íon acompanhante; o pH da solução a ser aplicada; a disponibilidade de água no solo; a concentração da solução a ser aplicada; a idade da planta, o tempo estimado para a absorção foliar, entre outros) podem interferir na absorção dos nutrientes aplicados e na efetivação da técnica na cultura do pêssego.

A experimentação científica auxilia na orientação e na comprovação da eficiência, além de indicar procedimentos técnicos eficientes e seguros para o emprego dessa tecnologia, a qual deve ser constantemente avaliada. Em revisão sobre o tema, Brunetto et al. (2025) indicam que o maior número de publicações sobre aplicação de nutrientes via foliar no mundo ocorre de maneira mais intensa na cultura dos citros, seguido da videira e da macieira, tendo menor número de artigos científicos na cultura do pessegueiro, evidenciando a carência de informações técnicas sobre o tema.

Gazolla Neto et al. (2007) avaliaram o efeito da adubação de base via solo, complementada com a adubação foliar, na qualidade e na produtividade pré e pós-colheita de pêssegos cultivar Maciel em Pelotas (RS). Os autores observaram que a adubação foliar não melhorou a qualidade dos frutos nem a produtividade. Apenas no armazenamento refrigerado houve diferença significativa, com menor incidência de podridão, sendo que as demais variáveis do estudo não apresentaram diferenças estatísticas.

Brunetto et al. (2008), estudando o efeito de pulverizações foliares com diferentes fontes de Ca no teor desse elemento e de outros nutrientes nas folhas, nos frutos e na produção em Bento Gonçalves (RS), concluíram que houve aumento do teor de Ca nas folhas, porém, sem efeitos significativos nos demais nutrientes, na composição nutricional dos frutos ou na produtividade.

Bertolini et al. (2018) avaliaram o efeito de dois produtos à base de K aplicados via foliar sobre a produção e a qualidade de frutos, na variedade Marli,

cultivada em Nova Pádua (RS). As adubações foliares com K não influenciaram significativamente os parâmetros analisados, como sólidos solúveis, acidez, coloração, firmeza da polpa, produtividade, tamanho e massa de frutos. Entretanto, obteve-se efeito negativo sobre o número de frutos por planta.

Ao empregarem a técnica isotópica para avaliar a mobilidade de B em mudas de pessegueiro cultivados em Ilha Solteira (SP), Souza et al. (2012) verificaram que a adubação com B proporcionou incremento no número de folhas novas; contudo, o teor de B nas folhas novas foi maior na adubação com boro via solo, comparativamente à adubação via foliar.

Diante de tais evidências, aplicações de fertilizantes via foliar ou via fruto devem complementar a adubação realizada no solo e não substituí-la. Respostas mais positivas das aplicações via foliar são observadas em solos com elevado valor de pH, baixa disponibilidade de nutrientes no solo, em frutíferas com menores teores de nutrientes em seus órgãos, em solos com restrição hídrica e em frutíferas que por algum motivo têm dificuldade de realizar o transporte das raízes para os órgãos da parte aérea, ou mesmo que têm dificuldade de redistribuir os nutrientes entre os órgãos. Maior sucesso no uso de fertilizantes via foliar será alcançado, certamente, com a realização de ensaios científicos consistentes e pela aplicação prática de seus resultados por técnicos e produtores. É importante destacar, também, a necessidade continuar as pesquisas relacionadas à aplicação via foliar ou via fruto em pessegueiros, em diferentes cultivares e condições edafoclimáticas, em pomares com distintas concentrações de nutrientes no solo e teores em folhas, bem como testando fontes, doses, épocas, modos e frequência de aplicação. Tudo isso é necessário para continuar gerando conhecimento sobre o real impacto da aplicação via foliar ou via fruto em variáveis de produtividade, qualidade do produto colhido e estado nutricional do pessegueiro.

## **5. Perspectivas relacionadas à estimativa do estado nutricional**

O estado nutricional do pessegueiro tem grande impacto na produtividade e na qualidade dos frutos. Por isso, desenvolver e avaliar metodologias aplicáveis ao diagnóstico do estado nutricional é uma tarefa constante e deve ser uma meta da pesquisa, dos técnicos e das empresas ligadas ao setor. Poucos produtores e empresas ligadas ao cultivo do pessegueiro utilizam ferramentas que quantificam os teores de nutrientes nas plantas. O diagnóstico visual, sujeito a erros subjetivos de interpretação, é ainda o mais, quando não, o único utilizado rotineiramente. Diante disso, perspectivas relacionadas à estimativa do estado nutricional do pessegueiro estão ligadas ao desenvolvimento de metodologias de diagnóstico, análise e interpretação dos teores minerais, mas também, à necessidade de difusão e de adoção destas ferramentas pelo setor.

Pomares de pessegueiro apresentam grande variabilidade em função dos solos de cultivo (Andrés-de Prado et al., 2007; Chavarria et al., 2011), que impactam a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, mas, também, devido as cultivares e ao manejo das áreas (Clarke et al., 2015; Morlat & Bodin, 2006). Além disso, variações do clima provocam expressivas diferenças entre as safras (Galarça et al., 2013; Nava et al., 2022). Toda essa variabilidade determinará grandes diferenças nos teores de nutrientes nos tecidos vegetais. Conhecer esta instabilidade nutricional e como ela se relaciona com a produtividade e a qualidade dos frutos é uma demanda importante da pesquisa. A partir disso, técnicas de manejo podem ser implementadas para amenizar os efeitos negativos que esta variabilidade causa nos pomares. Para isso, é necessário construir bancos de dados compostos por longos históricos, compostos pelo clima, concentrações de nutrientes no solo e teores na planta, além de produtividade e qualidade dos frutos (Brunetto et al., 2023; Moura-Bueno et al., 2023).

Considerando a natureza multifatorial das interações entre os nutrientes, caso a avaliação do estado nutricional seja realizada somente com o teor crítico dos elementos, ou seja, apenas com dados univariados, haverá negligência das

inter-relações nutricionais (Parent et al, 2013b), que são reguladas por uma rede de processos fisiológicos controlados por meios fenotípicos e genéticos que impactam os teores foliares determinados na análise química (Hahn et al., 2022, 2024; Parent et al., 2013a,b, 2020).

Múltiplos níveis de interações de nutrientes resultam não apenas em interações sinérgicas ou efeitos antagônicos, mas, também, em evoluções a partir de semelhanças químicas entre elementos que estão em rede e se autoajustam dentro do espaço composicional do tecido (Parent, 2011). Assim, as avaliações do estado nutricional realizadas no tecido vegetal devem ser consideradas como conjuntos únicos de dados multivariados, os quais não podem ser interpretadas isoladamente (Parent & Dafir, 1992; Parent et al., 2013b; Parent, 2011).

Convencionalmente, os valores de referência são estabelecidos em experimentos de calibração, nos quais as características genéticas, ambientais e as interações entre os nutrientes são controladas (Bhargava & Chadha, 1988). Por essa razão, os resultados assim obtidos devem ser empregados na avaliação de culturas que se desenvolvem sob as mesmas condições utilizadas na experimentação, o que torna o processo extremamente restritivo para uso em larga escala na agricultura. Além disso, os valores de referência não são definitivos, estando sujeitos à revisões periódicas em consequência da introdução de novos materiais genéticos, novas técnicas de manejo ou de cultivo e variação nas condições do ambiente, o que exigiria, regularmente, a instalação de novos experimentos de calibração, os quais são onerosos e, em geral, de média a longa duração.

Uma alternativa aos experimentos de calibração seria o aproveitamento de informações de monitoramento nutricional, obtidas em talhões comerciais. Esses dados agregam informações oriundas de ampla variação ambiental e podem ser avaliados pelo método do Diagnóstico da Composição Nutricional – CND (Parent & Dafir, 1992) que é essencial para o avanço nas estratégias de adubação, sendo

complementares e alternativas aos experimentos de calibração. Isso é importante para aprimorar as atuais bases de produção na obtenção de valores de referência das culturas de interesse em condições regionais.

## **6. Considerações finais**

No presente capítulo, são apresentados conhecimentos já consolidados sobre calagem, adubação e nutrição mineral de frutíferas, com ênfase na cultura do pessegueiro. Além disso, são discutidas demandas ainda existentes que requerem aprofundamento por parte dos grupos de pesquisa, bem como a necessidade de que práticas e tecnologias já validadas cientificamente sejam efetivamente incorporadas pelo setor produtivo, com adequado monitoramento de seus resultados. Nesse contexto, as informações geradas por técnicos e produtores, a partir da aplicação dessas recomendações em condições de campo, devem ser sistematicamente compartilhadas com a comunidade científica, de modo a subsidiar o aprimoramento das recomendações técnicas e a definição de prioridades futuras de pesquisa.

## **7. Referências Bibliográficas**

AMARANTE, C. V. T.; ERNANI, P. R.; STEFFENS, C. A.; ARGENTA, L. C. Skin calcium content is indicative of bitter pit susceptibility in ‘Fuji’ apples. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, 2011.

ANDRADE, C. B.; COMIN, J. J.; MOURA-BUENO, J. M.; BRUNETTO, G. Obtaining reference values for nutrients in vineyard soils through boundary line approach using Bayesian segmented quantile regression on commercial farm data. **European Journal of Agronomy**, v. 150, art. 126928, 2023.

ANDRÉS-DE PRADO, R.; YUSTE-ROJAS, M.; SORT, X.; ANDRÉS-LACUEVA, C.; TORRES, M.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. Effect of soil type on wines produced from *Vitis vinifera* L. cv. Grenache in commercial vineyards. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 779–786, 2007.

BASILE, B.; ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; SOPPELSA, S.; ANDREOTTI, C. Appraisal of emerging crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry crops facilitated by the application of biostimulants. **Scientia Horticulturae**, v. 267, n. 109330, 2020.

BATSMANOVA, L. M.; GONCHAR, L. M.; TARAN, N. Y.; OKANENKO, A. A. Using a colloidal solution of metal nanoparticles as micronutrient fertilizer for cereals. In: **International conference on nanomaterials: applications and properties**. 2013. p. 178–192.

BERTOLINI, I.; FOGAÇA, M. A. de F.; DAL MAGRO, L. Aplicação de fertilizantes foliares potássicos na produção e qualidade de pêssego. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 1, n. 1, 2018.

BHARGAVA, B. S.; CHADHA, K. L. Leaf nutrient guide for fruit and plantation crops. **Fertilizer News**, v. 33, n. 7, p. 21–29, 1988.

BRACKMANN, A.; RIBEIRO, N. D. Physiological disorders in apples related with calcium deficiency and its control. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 22, n. 2, 1992.

BRANCOURT-HULMEL, M.; LECOMTE, C.; MEYNARD, J.-M. A diagnosis of yield-limiting factors on probe genotypes for characterizing environments in winter wheat trials. **Crop Science**, v. 39, n. 6, p. 1798–1808, 1999.

BRUNETO, G.; SIMÃO D. G.; ROZANE, D. E.; GIROTTO, E.; OLIVEIRA, G. S. W. ; SILVA, K. R. ; TABALDI, L. A.; AGUILAR, M. V. M.; BIRCK, T. P.; NATALE, W.; MARCHEZAN, C. **Princípios para alcançar o sucesso no uso de nutrientes aplicados via foliar em frutíferas**. In: BRUNETO, G. GIROTTO, E.; MOTERLE, D.; TIECHER, T.; MELO, G. W. B. (eds.). Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2025. cap. 2, p. 49–80.

BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B. de; WELTER, P. D.; GIROTTO, E.; LORENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B.; DE CONTI, L.; TIECHER, T. L. Annual urea nitrogen contribution to the nutrition of Cabernet Sauvignon grapevine grown in sandy and clayey soil. **Agronomy**, v. 14, n. 101, 2024a.

BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; MELO, G. W. B.; GIROTTO, E.; FERREIRA, P. A. A.; LOURENZI, C. R.; COUTO, R.; TASSINARI, A.; HAMMERSCHMITT, R. K.; SILVA, L. O. S.; et al. Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition. **Scientia Horticulturae**, v. 207, p. 1–6, 2016.

BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B.; KAMINSKI, J. Aplicação foliar de cálcio em pessegueiro na Serra Gaúcha: avaliação do teor de nutrientes na folha, no fruto e da produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 528–533, 2008.

BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B.; TOSELLI, M.; QUARTIERI, M. TAGLIAVINI, M. The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 1089–1104, 2015.

BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; NATALE, W.; HAHN, L.; ANDRADE, C.B.; BUENO, J. M. M.; TRAPP T; COMIN, J. J. Predição de nutrientes em frutíferas como estratégia para racionalizar fertilizantes. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2023. v. 12, p. 205–237.

BRUNETTO, G.; SETE, P. B.; NORBERTO, P. M.; WELTER, P. D.; VIANA, I. T. S.; ANDRADE, M. P. The fate of soil-applied nitrogen in the fig tree. **Horticulturae**, v. 10, n. 609, 2024b.

CHAI, X.; YANG, Y.; WANG, X.; HAO, P.; WANG, L.; WU, T.; WANG, Y. Spatial variation of the soil bacterial community in major apple producing regions of China. **Journal of Applied Microbiology**, v. 130, n. 4, p. 1294–1306, 2020.

CHAPMAN, N.; MILLER, A.J.; LINDSEY, K.; WHALLEY, W.R. Roots, water, and nutrient acquisition: let's get physical. **Trends in Plant Science**, v. 17, n. 12, p. 701–710, 2012.

CHAVARRIA, G.; BERGAMASCHI, H.; SILVA, L.C.; SANTOS, H.P.; MANDELLI, F.; GUERRA, C.C.; FLORES, C.A.; TONIETTO, J. Relações hídricas, rendimento e compostos fenólicos de uvas 'Cabernet Sauvignon' em três tipos de solo. **Bragantia**, v. 70, p. 481–487, 2011.

CLARKE, S. J.; LAMONT, K. J.; PAN, H. Y.; BARRY, L. A.; HALL, A.; ROGIERS, S. Y. Spring root-zone temperature regulates root growth, nutrient uptake and shoot growth dynamics in grapevines. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 21, p. 479–489, 2015.

COLPAERT, B.; STEPPE, K.; GOMAND, A.; VANHOUTTE, B.; REMY, S.; BOECKX, P. Experimental approach to assess fertilizer nitrogen use, distribution, and loss in pear fruit trees. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 165, p. 207–216, 2021.

CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v. 19, p. 292–305, 2009.

CORRÊA, M. C. D. M.; NATALE, W.; PRADO, R. D. M.; BANZATTO, D. A.; QUEIROZ, R. F.; SILVA, M. A. C. D. Surface application of lime on a guava orchard in production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, e0170203, 2018.

CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS E SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

DAVARPANA, S.; TEHRANIFAR, A.; DAVARYNEJAD, G.; ABADÍA, J.; KHORASSANI, R. Effects of foliar applications of zinc and boron nanofertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 210, p. 57–64, 2016.

DE PAULA, B. V.; VITTO, B. B.; SETE, P. B.; TRAPP, T.; ZALAMENA, J.; MELO, G. W. B.; BALDI, E.; TOSELLI, M.; ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G. Annual and residual urea nitrogen contribution to the nutrition of peach trees (*Prunus persica* L.) grown under subtropical climate. **Scientia Horticulturae**, v. 284, n. 110099, 2021.

DEUS, J.A.L.; NEVES, J.C.L.; SOARES, I.; ALVAREZ V., V.H.; ALBUQUERQUE, F.M.R.; SANTOS, L.L.; NATALE, W. Modeling in the adjustment of fertilization recommendation through leaf analysis in fertigated 'Prata' banana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1–19, 2018.

ELLISON, A. M. An introduction to Bayesian inference for ecological research and environmental decision-making. **Ecological Applications**, v. 6, n. 4, p. 1036–1046, nov. 1996.

FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION CORPORATE STATISTICAL DATABASE. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Crops 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#dataQC>. Acesso em: set. 2025.

FATIMA, F.; HASHIM, A.; ANEES, S. Efficacy of nanoparticles as nanofertilizer production: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 2, p. 1292–1303, 2022.

FIORANI, F.; SCHURR, U. Future scenarios for plant phenotyping. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, n. 1, p. 267–291, 2013.

GALARÇA, S. P.; FACHINELLO, J. C.; BETEMPS, D. L.; HOFFMANN, A.; MARODIN, G. A. B.; PRETTO, A.; NUNES, F. S.; DIAS, F. P. Crescimento e desenvolvimento de pessegueiros ‘Chimarrita’ e ‘Maciel’ sobre diferentes porta-enxertos e locais de cultivo. **Ciência Rural**, v. 43, p. 219–224, 2013.

GAZOLLA NETO, A.; GIACOBBO, C.L.; PAZZIN, D.; FACHINELLO, J.C. Qualidade do pêssego, cv. Maciel, em função da adubação de base e foliar. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 3, p. 233–237, 2007.

HAHN, L.; KURTZ, C.; DE PAULA, B. V.; FELTRIM, A. L.; HIGASHIKAWA, F. S.; MOREIRA, C.; ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G.; PARENT, L.-É. Feature-specific nutrient management of onion (*Allium cepa*) using machine learning and compositional methods. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, n. 6034, 2024.

HAHN, L.; PARENT, L. E.; FELTRIM, A. F.; ROZANE, D. E.; ENDER, M. M.; TASSINARI, A.; KRUG, A. V.; BERGHETTI, A. L. P.; BRUNETTO, G. Local factors impact accuracy of garlic tissue test diagnosis. **Agronomy**, v. 12, n. 11, n. 2714, 2022.

IBGE. (2024). **Censo Agropecuário**. Disponível em: [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364)[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76364). Acesso em: 4 out. 2025.

KU, L.; SERNA, I. The impact of automated farming on the agriculture industry. **Plug and play tech center**, 2023. Disponível em: <https://www.plugandplaytechcenter.com/resources/how-automation-transforming-farming-industry/>. Acesso em: 4 out. 2025.

LARK, R. M.; GILLINGHAM, V.; LANGTON, D.; MARCHANT, B.P. Boundary line models for soil nutrient concentrations and wheat yield in national-scale datasets. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 3, p. 334–351, 2019.

LIANG, Z.; LIU, Y.; XU, Y.; WAGNER, T. Bayesian change point quantile regression approach to enhance the understanding of shifting phytoplankton–dimethyl sulfide relationships in aquatic ecosystems. **Water Research**, v. 201, n. 117287, 2021.

LIANG, Z.; QIAN, S. S.; WU, S.; CHEN, H.; LIU, Y.; YU, Y.; YI, X. Using Bayesian change point model to enhance understanding of the shifting nutrients–phytoplankton relationship. **Ecological Modelling**, v. 393, p. 120–126, 2019.

LIMA NETO, A. J.; DEUS, J. A. L.; RODRIGUES FILHO, V. A.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Nutrient diagnosis of fertigated “Prata” and “Cavendish” banana (*Musa* spp.) at plot-scale. **Plants**, v. 9, n. 1467, 2020.

LIU, S.; WANG, X.; YIN, X.; SAVOY, H. J.; MCCLURE, A.; ESSINGTON, M. E. Ammonia volatilization loss and corn nitrogen nutrition and productivity with efficiency-enhanced UAN and urea. **Scientific Reports**, v. 9, n. 6610, 2019.

MAKOWSKI, D.; WALLACH, D.; MEYNARD, J.-M. Models of yield, grain protein, and residual mineral nitrogen responses to applied nitrogen for winter wheat. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 3, p. 377–385, 1999.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 594 p.

MANORAMA, K.; BEHERA, S. K.; SURESH, K. Establishing optimal nutrient norms in leaf and soil for oil palm in India. **Industrial Crops and Products**, v. 174, n. 114223, 2021.

MAYER, N. A.; UENO, B.; DAS NEVES, T. R. Propagação vegetativa de seleções de porta-enxertos potencialmente tolerantes à morte-precoce do pessegueiro. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 3, p. 300–308, 2018.

MELO, G. W. B.; SETE, P. B.; AMBROSINI, V. G.; FREITAS, R. F.; BASSO, A.; BRUNETTO, G. Nutritional status, yield and composition of peach fruit subjected to the application of organic compost. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 1, p. 103–109, 2016.

MENEGATTI, R. D.; SOUZA, A. das G.; BIANCHI, V. J. Nutritional efficiency for nitrogen, phosphorus and potassium in peach rootstocks. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 2, p. 228–237, 2021.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285 p.

MORLAT, R.; BODIN, F. Caracterização de terroirs vitícolas utilizando um modelo de campo simples baseado na profundidade do solo. II – Validação da produtividade da uva e da qualidade dos frutos no vinhedo de Anjou (França). **Plant and Soil**, v. 281, p. 55–69, 2006.

MOURA-BUENO, J. M.; STEFANELLO, L. O.; TASSINARI, A.; BETEMPS, D. L.; TRENTIN, E.; BRUNETTO, G. Estimativa de níveis críticos de nutrientes no solo para pessegueiro utilizando modelos bayesianos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, 27., 2022. Anais [...]. 2022.

MOURA-BUENO, J. M.; BARBOSA, J. G. P.; ROZANE, D. E.; ANDRADE, C. B.; NATALE, W.; HAHN, L.; BRUNETTO, G. **Perspectivas futuras para melhorar o aproveitamento de nutrientes em pomares e vinhedos**. In: BRUNETTO, G.; ROZANE, D.E.; LOSS, A.; NATALE, W. Estratégia de manejo para melhorar o aproveitamento de nutrientes em frutíferas. Santa Maria: Editora Palotti, 2023. p. 255-259.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1475–1485, 2007.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 1136–1145, 2008.

NATALE, W.; ROZANE, D. E. **Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas**. Registro: UNESP, 2018. 124 p.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, S.-É.; PARENT, L. E. Soil acidity and liming in tropical fruit orchards. In: ISSAKA, R. N. (Org.). **Soil fertility**. Rijeka: InTech, 2012. v. 1, p. 173–192.

NAVA, G.; DE PAULA, B. V.; HAHN, L.; BENATI, J. A.; BRUNETTO, G.; NAVROSKI, R.; HINDERSMANN, J.; PAESE, B. T.; MOURA-BUENO, J. M. **Calagem, adubação e estado nutricional em pessegueiro**. In: BRUNETTO, G. et al. (org.). Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2025.

NAVA, G.; REISSER JÚNIOR, C.; PARENT, L.-É.; BRUNETTO, G.; MOURA-BUENO, J. M.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; BARRETO, C. F. Esmeralda peach (*Prunus persica*) fruit yield and quality response to nitrogen fertilization. **Plants**, v. 11, art. 352, 2022.

PARENT, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 321–334, 2011.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, p. 239–242, 1992.

PARENT, S.-É.; LAFOND, J.; PARÉ, M. C.; PARENT, L. E.; ZIADI, N. Conditioning machine learning models to adjust lowbush blueberry crop management to the local agroecosystem. **Plants**, v. 9, n. 10, p. 1401, 2020.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HÉBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; MARCHAND, S.; LAFOND, J.; MATTOS, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 39, 2013a.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera indica*). **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 449, 2013b.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111 p.

QUEMADA, M.; GABRIEL, J. L. Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously. **Global Food Security**, v. 9, p. 29–35, 2016.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico; Fundação IAC, 1997. (Boletim Técnico, 100).

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 40, 2020.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; WILLIG, E.; SPERA, S. A.; VANWEY, L. K.; PORTER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, v. 2, n. 16043, 2016.

ROZANE, D. E.; MATTOS JÚNIOR, D.; PARENT, S.-É.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Meta-analysis in the selection of groups in varieties of citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, p. 1948–1959, 2015.

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, v. 44, n. 1, p. 102–112, 2016.

SÃO JOSÉ, A. R.; PRADO, N.B.; BOMFIM, M. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; MENDES, H. T. A. Marcha de absorção de nutrientes em *Annona*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, 2014.

SHARPE, R. R.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P.; OKIE, W. R. Establishment of peach in a replant site as affected by soil fumigation, rootstock, and pruning date. **Plant Disease**, v. 73, n. 5, p. 412–415, 1989.

SILVA, A. G. B.; SEQUEIRA, C. H.; SERMARINI, R. A.; OTTO, R. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: a meta-analysis. **Agronomy Journal**, v. 109, p. 636–645, 2017.

SILVA, M. A. C.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; STUCHI, E. S.; ANDRIOLI, I. Aplicação superficial de calcário em pomar de laranja 'Pêra' em produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 606–612, 2007.

SOUZA, F.; ALVES, E.; PIO, R.; CASTRO, E.; REIGHARD, G.; FREIRE, A. I.; MAYER, N. A.; PIMENTEL, R. Influence of temperature on the development of peach fruit in a subtropical climate region. **Agronomy**, v. 9, n. 20, 2019.

SOUZA, J. A. de; CANESIN, R. C. F. S.; BUZETTI, S. Mobilidade de boro em mudas de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 930–935, 2012.

STEFANELLO, L.; SCHWALBERT, R.; SCHWALBERT, R.; TASSINARI, A.; GARLET, L.; DE CONTI, L.; CIOTTA, M.; CERETTA, C.; CIAMPITTI, I.; BRUNETTO, G. Phosphorus critical levels in soil and grapevine leaves for South Brazil vineyards: a Bayesian approach. **European Journal of Agronomy**, v. 144, art. 126752, 2023.

THEOBALD, C. M.; TALBOT, M. The Bayesian choice of crop variety and fertilizer dose. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C: Applied Statistics**, v. 51, p. 23–36, 2002.

TOSELLI, M.; SCANDELLARI, F.; TAGLIAVINI, M.; BALDI, E.; DE CONTI, L.; TRAPP, T.; ROZANE, D. E.; HAHN, L.; NATALE, W.; BRUNETTO, G. **Aspectos atuais e perspectivas sobre a adubação e a nutrição em frutíferas**. In: HAHN, L.; BRUNETTO, G. (Eds.). Atualização técnica sobre calagem e adubação em frutíferas. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2022. p. 19–44.

TRAPP, T.; MOURA-BUENO, J. M.; SIQUEIRA, G. N. de; HAHN, L.; ROZANE, D. E.; LIMA NETO, A. J. de; NATALE, W.; LOSS, A.; BRUNETTO, G. Nutrients' critical level propositions and sufficiency ranges aimed at high apple yield under subtropical climate. **European Journal of Agronomy**, v. 164, n. 127523, 2025.

WALTZ, E. With a free pass, CRISPR-edited plants reach market in record time. **Nature Biotechnology**, v. 36, p. 6–7, 2018.

WALWORTH, J. L.; LETZSCH, W. S.; SUMNER, M. E. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 1, p. 123–128, 1986.

WANG, F.; GE, S.; LYU, M.; LIU, J.; LI, M.; JIANG, Y.; XU, X.; XING, Y.; CAO, H.; ZHU, Z.; JIANG, Y. DMPP reduces nitrogen fertilizer application rate, improves fruit quality, and reduces environmental cost of intensive apple production in China. **Science of the Total Environment**, v. 802, n. 149813, 2022.

WEBB, R. A. Use of the boundary line in the analysis of biological data. **Journal of Horticultural Science**, v. 47, p. 309–319, 1972.

WEI, X.; CHEN, J.; GAO, B.; WANG, Z. Role of controlled and slow-release fertilizers in fruit crop nutrition. In: **Fruit Crops**. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 555–564.

WU, Y.; SUN, M.; LIU, J.; WANG, W.; LIU, S. Fertilizer and soil nitrogen utilization of pear trees as affected by the timing of split fertilizer application in rain-fed orchard. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 363–369, 2019.

YAMANE, D. R.; PARENT, S.-É.; NATALE, W.; CECÍLIO FILHO, A. B.; ROZANE, D. E.; NOWAKI, R. H. D.; MATTOS JUNIOR, D. de; PARENT, L. E. Site-specific nutrient diagnosis of orange groves. **Horticulturae**, v. 8, n. 12, n. 1126, 2022.

ZHANG, M.; GAO, B.; CHEN, J.; LI, Y.; CREAMER, A. E.; CHEN, H. Slow-release fertilizer encapsulated by graphene oxide films. **Chemical Engineering Journal**, v. 255, p. 107–113, 2014.

ZIPORI, I.; EREL, R.; YERMIYAHU, U.; BEM-GAL, A.; DAG, A. Sustainable management of olive orchard nutrition: a review. **Agriculture**, v. 10, n. 1, n. 11, 2020.

