

Capítulo 6

Estimativa do estado nutricional em pessegueiros

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

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⁻¹. 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.jean1@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⁻¹ (IBGE, 2024), valor bem inferior à média de 20,3 t ha⁻¹ 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^a; 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 Diagnóstico e Recomendação (DRIS), proposto por Beaufils (1973), a Diagnóstico 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 β , sendo a estimativa do valor β 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).

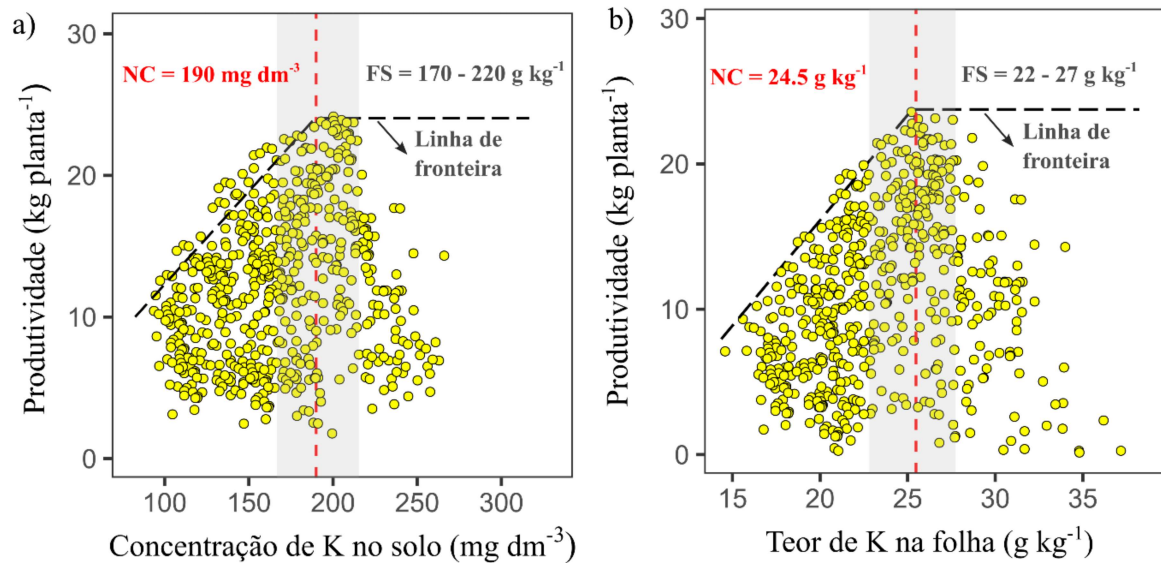


Figura 1. Nível crítico de potássio (K) no solo (a) e nas folhas (b) em função da produtividade de pessegueiro definido pelo método da Linha de Fronteira (LF) e pela função linear-plateau (LP). Fonte: Os autores.

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 ⁻³)	24	21 - 26
K (mg dm ⁻³)	190	185 - 200
Ca (cmol _c dm ⁻³)	5,8	4,5 – 6,8
Mg (cmol _c dm ⁻³)	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 ⁻¹		Produtividade > 20 t ha ⁻¹
N (g kg ⁻¹)	31,0	28,0 – 33,0	33,0 – 45,0
P (g kg ⁻¹)	2,8	2,5 – 3,0	1,5 – 3,0
K (g kg ⁻¹)	23,5	21,5 – 25,0	14,0 – 20,0
Ca (g kg ⁻¹)	28,5	26,0 – 31,0	17,0 – 26,0
Mg (g kg ⁻¹)	4,5	4,0 – 5,0	5,0 – 8,0
S (g kg ⁻¹)	0,85	0,70 – 1,00	–
B (mg kg ⁻¹)	25,0	23,0 – 27,0	30,0 – 60,0
Cu (mg kg ⁻¹)	9,0	7,0 – 12,0	6,0 – 30,0
Fe (mg kg ⁻¹)	72,0	65,0 – 80,0	100,0 – 230,0
Mn (mg kg ⁻¹)	–	–	30,0 – 160,0
Zn (mg kg ⁻¹)	–	–	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⁻¹, 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⁻¹ e a faixa de suficiência variou entre 28,0 e 33,0 g kg⁻¹, 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⁻¹, com FS entre 2,5 e 3,0 g kg⁻¹, 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⁻¹ e FS de 21,5 a 25,0 g kg⁻¹, superando os valores de suficiência da recomendação oficial (14,0 a 20,0 g kg⁻¹), 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⁻¹, com faixa de suficiência entre 26,0 e 31,0 g kg⁻¹, ao passo que, para Mg, o NC foi de 4,5 g kg⁻¹, com FS entre 4,0 e 5,0 g kg⁻¹. A realização deste estudo também possibilitou estabelecer valores de referência para o S em folhas de pessegueiro (NC = 0,85 g kg⁻¹ e FS = 0,70-1,00 g kg⁻¹), 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⁻¹; 9,0 mg kg⁻¹ e 72,0 mg kg⁻¹. 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⁻¹ e a faixa de suficiência entre 28,0 e 33,0 g kg⁻¹, 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⁻¹, com FS entre 1,85 e 2,2 g kg⁻¹, 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⁻¹ e FS de 21,5 a 25,0 g kg⁻¹, superando os valores de suficiência da recomendação oficial (14,0 a 20,0 g kg⁻¹), 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⁻¹, com faixa de suficiência entre 18,0 e 21,0 g kg⁻¹, enquanto para o Mg o NC foi de 6,0 g kg⁻¹, com FS entre 5,4 e 6,8 g kg⁻¹.

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 ⁻¹		Produtividade > 20 t ha ⁻¹
N (g kg ⁻¹)	31,0	28,0 – 33,0	33,0 – 45,0
P (g kg ⁻¹)	2,0	1,85 – 2,20	1,5 – 3,0
K (g kg ⁻¹)	23,5	21,5 – 25,0	14,0 – 20,0
Ca (g kg ⁻¹)	19,5	18,0 – 21,0	17,0 – 26,0
Mg (g kg ⁻¹)	6,0	5,4 – 6,8	5,0 – 8,0
S (g kg ⁻¹)	–	–	–
B (mg kg ⁻¹)	35,0	32,0 – 38,0	30,0 – 60,0
Cu (mg kg ⁻¹)	6,3	5,3 – 7,3	6,0 – 30,0
Fe (mg kg ⁻¹)	56,0	51,0 – 62,0	100,0 – 230,0
Mn (mg kg ⁻¹)	–	–	30,0 – 160,0
Zn (mg kg ⁻¹)	–	–	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⁻¹; 6,3 mg kg⁻¹ e 56,0 mg kg⁻¹ 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 Diagnóstico e Recomendação (DRIS), a Diagnóstico 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^o 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 pêssogo – 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

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>