

Diagnose nutricional da cana-de-açúcar por diferentes métodos de interpretação

Edilaine Istéfani Franklin Traspadini | Paulo Guilherme Salvador Wadt |

Luiz Antonio Falaguasta Barbosa | Renato de Mello Prado | Fábio Cesar da Silva | Naara Rosa Martins

Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção estimada de 568 mil toneladas na safra 2021/2022 (Acompanhamento da safra brasileira [de] cana-de-açúcar, 2022) e, com viés de crescimento, em face da elevada demanda resultante da sua dupla aptidão como fonte de alimento e combustível (Bordonal et al., 2018a).

O crescimento da produção pode ocorrer tanto pela expansão territorial das áreas de cultivo como pelo incremento da produtividade. Contudo, a expansão territorial é limitada por diversos fatores, como políticas restritivas ao cultivo da cana-de-açúcar nas áreas de fronteira agrícola; a necessidade de uma série de investimentos com logística de transporte, serviços e industrialização; e a competição com outras cadeias de produção agropecuárias, que estão em constante expansão.

Por sua vez, o aumento da produtividade implica melhorias incrementais nas cadeias de produção local, portanto, com menor custo de investimento e consequente redução da relação custo benefício para o capital investido (Cardozo et al., 2018). Assim, há uma busca por estratégias para intensificação sustentável da produção por meio da verticalização da cadeia de produção (Fachinelli; Pereira Júnior, 2015).

Entre os fatores que afetam a composição dos custos na produção de cana-de-açúcar, destaca-se a prática de adubação, que pode representar

até 30% do custeio anual com a cultura (Zambello Júnior et al., 1980; Silva et al., 2017), o que corresponde a aproximadamente 15% do consumo de fertilizantes comercializados no País (Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 2018). Estima-se que a utilização desse insumo com maior eficácia, além de melhorar a relação custo benefício, pode ocasionar incrementos de produtividade de até 50% (Gopalasundaram et al., 2012).

Além disso, por causa da alta produtividade de biomassa, a cana-de-açúcar cicla no sistema solo-planta elevadas quantidades de nutrientes (Calheiros et al., 2012; Mishra et al., 2014; Meena et al., 2015). Assim, o adequado manejo das adubações com a ciclagem in situ consiste em uma prática essencial para que a cultura alcance elevados rendimentos e competitividade no mercado alimentício e energético.

Entre as ferramentas disponíveis para o monitoramento nutricional, a análise foliar se destaca por ser um método de boa exatidão e precisão, de baixo custo operacional e de fácil interpretação do estado nutricional da cultura da cana-de-açúcar (Silva et al., 2017). O monitoramento nutricional, que consiste na avaliação do estado nutricional de forma contínua no espaço e no tempo, é a ferramenta que avalia a eficácia das tecnologias de manejo de adubação adotadas na lavoura (Oliveira et al., 2019), contribuindo para o uso racional dos insumos, melhorando o equilíbrio nutricional da planta e proporcionando aumentos na produtividade e na segurança do uso

dos fertilizantes (Santos et al., 2013), bem como provocando melhoria da saúde do solo e da qualidade ambiental (Sanyal et al., 2014).

Além disso, ao integrar a avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar e a análise da fertilidade do solo, é possível obter melhores prognósticos e uma melhoria na eficácia da gestão dos processos de recomendações de adubação na cultura da cana-de-açúcar (Gopalasundaram et al., 2012; Abdel-Hady, 2015). Isso é uma consequência do fato de que o estado nutricional reflete as interações do ambiente, do manejo, do material genético e das práticas culturais, inclusive da adubação, as quais não são completamente avaliadas pelo processo de interpretação da fertilidade do solo (Beaufils, 1973; Rodríguez; Rodríguez, 2000).

A eficácia no uso de fertilizantes requer recomendações técnicas baseadas na resposta da planta ao manejo fitotécnico adotado, na disponibilidade de nutrientes e no clima (Silva et al., 2020a). Esses fatores permitem identificar os ajustes necessários na recomendação dos nutrientes, definindo-se as doses indicadas para cada situação particular e sempre tomando como base o comportamento produtivo da planta, e não apenas os valores tidos como referência para diagnose nutricional.

A avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pode ser obtida por diferentes metodologias de interpretação das análises foliares. Entre estas, têm-se os métodos univariados Nível Crítico (NC) e a Faixa de Suficiência (FS), que são independentes de interações entre nutrientes (diagnósticos absolutos) (Orlando Filho, 1983; Malavolta, 2006); o método bivariado: Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação, do inglês *Diagnosis and Recommendation Integrated System* (DRIS); e o método multivariado: Diagnose da Composição Nutricional, do inglês *Compositional Nutrient Diagnosis* (CND) (Zambello Junior et al., 1980; Reis Júnior; Monnerat,

2002a, 2002b; Silva et al., 2020b). Tanto os métodos bivariados como os multivariados são interpretados com base na interação entre os nutrientes, e, portanto, os diagnósticos são sempre considerados não absolutos. Cabe mencionar que, para cada um dos métodos citados (NC, FS, DRIS e CND), existem diversas variações disponíveis na literatura.

De um modo geral, para os métodos NC e FS, os valores de referência (padrões nutricionais) podem ser obtidos por ensaios de calibração (experimentos de campo) e por processos matemáticos, como o critério da Distribuição Normal Reduzida (DNR) (Maia et al., 2001) ou o critério da Chance Matemática (ChMat) (Wadt et al., 1998). Já para os métodos DRIS e CND, os padrões nutricionais podem ser obtidos em condições de campo, desde que sejam representativos, tanto quanto possível, de todas as interações entre as variabilidades ambientais e os fatores de crescimento (nutricionais e não nutricionais) que afetam a fisiologia (crescimento e desenvolvimento) da cultura (Rodríguez; Rodríguez, 2000).

A fraqueza da técnica de avaliação do estado nutricional pela análise foliar está em sua sensibilidade a variações no processo de amostragem dos canaviais, bem como na ausência de valores de referência que sejam representativos do perfil tecnológico da cultura da cana-de-açúcar. A falha, seja na amostragem, seja no uso de valores de referência inadequados, resulta em diagnósticos de baixa acurácia, portanto, levando a decisões equivocadas na recomendação da adubação. Como consequência, pode-se não alcançar o ganho de produtividade almejado.

Nesse contexto, este capítulo tem por objetivo apresentar uma revisão ampla sobre o processo de avaliação do estado nutricional das culturas e discutir sua aplicabilidade na cultura da cana-de-açúcar, como parte de um processo fundamental para o desenvolvimento de sistemas de recomendação de adubação mais confiáveis e eficazes para a cultura da cana-de-açúcar.

Diagnose do estado nutricional de plantas

Diagnose foliar

A avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pode ser realizada por diferentes técnicas, como pelo uso de clorofilômetro, pela análise visual dos tecidos foliares e da planta, e pela interpretação da análise do conteúdo dos nutrientes em diferentes tecidos ou órgãos da cana-de-açúcar. Ao processo de interpretação dos teores dos nutrientes nas folhas da cana-de-açúcar denominamos de diagnose foliar. A diagnose foliar é também conhecida como interpretação da análise química foliar ou interpretação das análises dos teores nutricionais foliar.

Dado que a cana-de-açúcar possui ciclo plurianual, a técnica da diagnose foliar provê um indicador apropriado para acompanhar as demandas nutricionais da planta ao longo dos anos de seu ciclo de crescimento e em safras sucessivas.

A vantagem da diagnose foliar sobre a diagnose visual é que — dada sua precisão e exatidão analítica, e pelo fato de que variações nos teores dos nutrientes podem ser monitoradas e identificadas antes do surgimento das desordens fisiológicas, em escala visual — permite realizar a diagnose antes que o sintoma associado ao distúrbio nutricional provoque perdas significativas da produtividade (Prado, 2021).

A diagnose foliar representa a capacidade fisiológica da planta em realizar seus processos metabólicos associados à absorção e processamento da energia solar, com reflexo direto na produtividade corrente da cultura. Adicionalmente, nas folhas, as alterações fisiológicas decorrentes de distúrbios nutricionais costumam ser, na maior parte dos casos, mais evidentes quando comparados a outros tecidos ou órgãos (Malavolta, 2006).

A diagnose foliar é um processo sequencial que se inicia com a amostragem das folhas (ou outro tecido ou órgão definido como objeto de avaliação), por meio de um procedimento exequível e padronizado. À amostragem segue-se a quantificação dos nutrientes na amostra, por meio de uma rotina analítica. Os resultados analíticos podem, então, ser comparados com valores de referência que reflitam condições consideradas de plantas sadias e produtivas, utilizando um, ou mais, dos diferentes métodos de interpretação disponíveis (Prado, 2021).

Em todas as culturas agrícolas, a coleta de folhas para análise foliar é uma etapa crítica, dado que os teores dos nutrientes no tecido vegetal variam, para uma mesma espécie vegetal, em função do tecido vegetal, de sua posição na planta, do nível de insolação direta ou indireta, da idade, da planta e do tecido vegetal (Meyer, 1975). Disso decorre que os resultados da análise química foliar somente são úteis e representativos se a amostragem for realizada corretamente, seguindo-se rigorosamente a padronização de coleta definida para a cultura (Prado; Caione, 2012).

As amostragens adotam procedimentos comuns à maior parte das culturas, com a indicação de que seja realizada na fase de maior crescimento vegetativo e no órgão vegetal que esteja na fase de maior atividade fotossintética (folhas recém-maduras). Disso decorre que a fase de desenvolvimento da folha, a sua posição na planta e no campo de cultivo e a época de amostragem quanto ao estágio de desenvolvimento da cultura devem ser rigorosamente definidas. Ainda, a amostragem deve ser representativa da área a ser avaliada, de forma que a quantidade de amostras a ser obtida deve ser em número suficiente para reduzir o erro amostral a um mínimo aceitável (Jones et al., 1981; Prado, 2021).

Na cultura da cana-de-açúcar, recomenda-se a amostragem da folha +3 (coleta de 20 a 30

folhas, em talhão uniforme, no período entre 4 a 6 meses depois da emergência do broto, coletando-se a folha +3 — terceira folha mais alta com o colarinho visível — no terço mediano, descartando-se a nervura principal (Figura 6.1) (Malavolta, 2006); ou a folha +1 (coleta de 30 plantas durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar), retirando-se os 20 cm centrais da folha +1 *Top Visible Dewlap* (“TVD”), excluindo-se a nervura central (Raij et al., 1996).

Ao considerar que a época de coleta da folha na fase de maior desenvolvimento da planta é uma condição muito afetada pelas variações climáticas e genéticas, e dado que pode ocorrer de 4 a 10 meses após a emergência do broto, há nessas duas recomendações diferenças metodológicas que podem resultar na alteração no teor dos nutrientes na cultura (Prado, 2021). Por esse motivo, McCray et al. (2018) indicam a amostragem da folha +1 como o tecido vegetal mais adequado para o processo de análise foliar da cana-de-açúcar (Figura 6.1).

No momento da diagnose foliar, deve-se atentar em utilizar padrões nutricionais cujos valores de referência tenham sido obtidos a partir de folhas coletadas usando o mesmo critério de amostragem adotado para a amostra em análise (Traspadini et al., 2018).

Relação do sistema produtivo e o estado nutricional das plantas

O local de cultivo (Lira et al., 2019; Reis Júnior; Monnerat, 2002b), os diferentes tipos de solos (Moura Filho et al., 2014), as variedades utilizadas, as condições climáticas e o manejo e a correção da fertilidade do solo influenciam na exigência nutricional das culturas (Santos et al., 2013). Além disso, as diferenças entre fontes de nutrientes minerais e orgânicas podem apresentar efeitos residuais importantes, que devem ser considerados no processo de recomendações de adubações (Gopalasundaram et al., 2012).

Contudo, apesar desse conjunto de condições determinantes das adubações, os avanços obtidos pelo melhoramento genético da cana-de-açúcar e o cultivo de materiais mais responsivos à oferta de nutrientes (Oliveira et al., 2016) têm sido considerados como responsáveis pelos aumentos na produtividade, no ciclo da vida da cana-planta, em consequência de incrementos de até 300% na fertilização nitrogenada (Fortes et al., 2013b).

As variedades de cana-de-açúcar também têm apresentado variabilidade quanto à quantidade do nutriente requerido para o adequado crescimento vegetativo e quanto aos teores dos

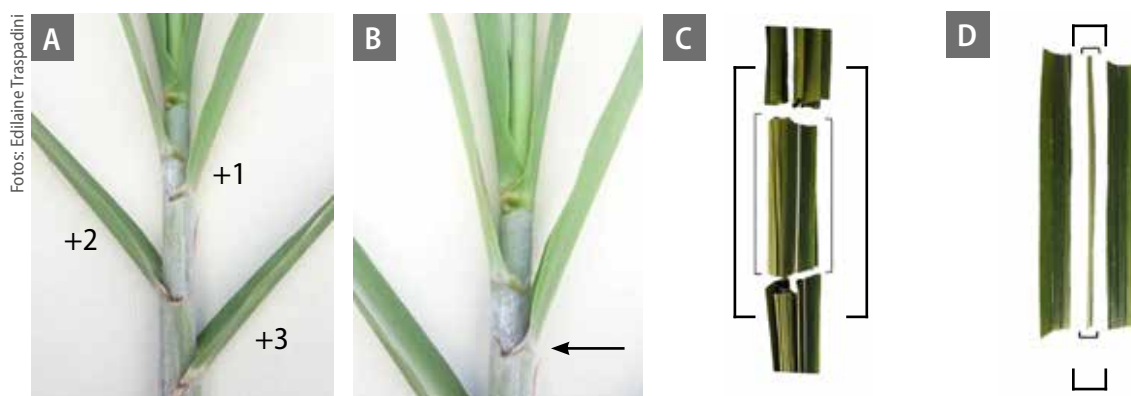


Figura 6.1. Processo de amostragem da folha diagnose padrão +1, +2 e +3 (A); das folhas que apresentam o colarinho visível (B); selecionando apenas o terço mediano da folha (C); descartando a nervura central (D) da cana-de-açúcar.

nutrientes relacionados à máxima produtividade da cana-de-açúcar (Oliveira et al., 2013), em especial no que se refere à eficiência das variedades na resposta à aplicação de fertilizantes nitrogenados (Santana et al., 2020).

Interações entre fontes de nutrientes podem também afetar a produtividade da cana-de-açúcar (Vasconcelos et al., 2014; Moda et al., 2015). Por exemplo, a aplicação de torta de filtro associada ao fósforo (P) pode impedir a absorção desse nutriente pelos coloides do solo (Moda et al., 2015) e aumentar as concentrações de nutrientes no solo, nas folhas e nas partes aéreas de plantas em 47, 7 e 36%, respectivamente (Vasconcelos et al., 2014). Nesse mesmo sentido, desde a adoção da colheita mecanizada, cerca de 10 a 20 mg ha⁻¹ de palhada da cana-de-açúcar permanecem no campo anualmente, afetando a relação carbono:nitrogênio (C:N) e carbono:fósforo (C:P) e, portanto, a imobilização e mineirização dos nutrientes (Leal et al., 2013a).

Assim, a retenção integral ou parcial da palha na superfície do solo é essencial para suportar diversas funções do solo (Carvalho et al., 2017; Satiro et al., 2017), como o controle da compactação do solo (Satiro et al., 2017); a retenção de água (Anjos et al., 2017); o sequestro e armazenamento de carbono (Bordonal et al., 2018b); a ciclagem de nutrientes (Fortes et al., 2013b); as atividades biológicas (Paredes Junior et al., 2015); e o controle da erosão (Valim et al., 2016), além de afetar a qualidade do solo (Aquino et al., 2018; Bordonale et al., 2018a; Lisboa et al., 2018). Todos esses fatores podem ser acompanhados mediante avaliação de seus efeitos na saúde do sistema solo-planta, por meio do monitoramento do estado nutricional da cultura.

Até mesmo a falta de efeito de determinado processo pode ser importante para melhorar o manejo das adubações. Nesse sentido, embora a remoção da palha da cana-de-açúcar possa ter pouco impacto no conteúdo de nutrientes

no tecido foliar, Lisboa et al. (2018) relatam variação na amplitude de 5 a 15 g kg⁻¹ para potássio (K) e de 2 a 6 g kg⁻¹ para cálcio (Ca). Ainda, a própria ciclagem de nutrientes no solo pode tamponar as taxas de remoção da palha em curtos períodos de tempo, o que pode ser constatado pela manutenção do estado nutricional ao longo do período do monitoramento realizado (Satiro et al., 2017).

Todavia, efeitos de diluição e concentração podem afetar a interpretação do estado nutricional, exigindo que os métodos de interpretação sejam adequados para cada situação a ser avaliada. Por exemplo, Lisboa et al. (2018) relatam que a remoção da palhada em 25% induziu redução no teor de P no tecido foliar maior que o observado com a remoção de 50% da palhada. Isso poderia ser atribuído à maior imobilização de P por causa da maior relação C:P no solo; porém, os autores alertam que a produtividade foi menor com a maior remoção da palhada, implicando que teores mais elevados de P e nitrogênio (N), no tratamento com maior remoção, foram em decorrência do efeito de concentração: taxa de absorção do nutriente maior que a taxa de assimilação de carbono fotossintético.

O uso de maturadores químicos para acelerar e melhorar a maturação da cana-de-açúcar — por possuírem em sua composição elementos como o boro (B), o silício (Si), o P e o K (Silva; Caputo, 2012; Siqueira, 2014; Silva, 2018) — pode também afetar os teores dos nutrientes (Silva, 2018). Em relação a influências locais, como as áreas litorâneas, local onde ocorre mistura da água do mar com a água doce, deixando-a salobra ou salgada, é comum observar problemas de salinização do solo (Lira et al., 2018), resultando em distúrbios nutricionais, afetando o metabolismo vegetal, com alterações nas taxas de acumulação e de exportação de nutriente, com consequente impacto na produtividade (Lira et al., 2019).

Todos os fatores citados anteriormente podem afetar o estado nutricional da planta e, consequentemente, podem ter efeito sobre os processos de diagnose foliar. Por isso, faz-se necessário o uso das ferramentas de diagnose e recomendações importantes para guiar as práticas de manejo das culturas nas suas diversas condições de cultivos.

Interpretação do estado nutricional

Atualmente, os métodos usados para a interpretação dos teores nutricionais estão divididos em três grupos principais: univariados, bivariados e multivariados.

Método univariado

Há uma forte relação entre a concentração do nutriente na planta e sua produtividade, sendo possível indicar o estado nutricional da cultura a partir da análise dessa relação (Bataglia; Santos, 1990). Os métodos univariados analisam o nutriente isoladamente, sem levar em consideração as relações e as interações com os demais nutrientes (Gott et al., 2017; McCray et al., 2018).

Fazem parte desse grupo os métodos do Nível Crítico (NC) e da Faixa de Suficiência (FS), cujos valores críticos adotados como referência consistem em classificar a cultura em estado de deficiência ou suficiência (NC), ou deficiência, suficiência e toxicidade (FS) (Malavolta, 2006). Níveis de deficiência sugerem que a adição do nutriente resultará em aumento da produtividade; nível suficiente indica que as quantidades disponíveis são adequadas, e nível de toxicidade indica que as quantidades disponíveis são excessivas.

Tradicionalmente, os valores de referência estabelecidos pelos métodos univariados são obtidos por meio de ensaios de calibração, em que os fatores determinantes do desenvolvimento

e do crescimento da cultura são fixados (mantidos constantes) e somente o nutriente em calibração é variável (Baldock; Schulte, 1996).

Na cultura da cana-de-açúcar estão disponíveis valores de referência obtidos pelo uso de ensaios de calibração para a interpretação do estado nutricional (Oliveira et al., 2013; Santana et al., 2020). Oliveira et al. (2013), no estado de São Paulo, realizaram a calibração para interpretação dos teores foliares de N, nos ciclos de produção da cana-planta e primeiro ano da cana-soca, estabelecendo os Níveis Críticos (NCs) de 19,0 g kg⁻¹ de N e 20,3 g kg⁻¹ de N de matéria seca, respectivamente. De forma semelhante, Santana et al. (2020), para cana cultivada em Pernambuco, determinaram como os NCs os valores de 13,0 g kg⁻¹ de N e 12,5 g kg⁻¹ de N de matéria seca, para as variedades RB92579 e RB867515, respectivamente. Mesmo que esses estudos tenham sido estabelecidos na última década (Oliveira et al., 2013; Santana et al., 2020), geralmente, os valores de referência, presentes na literatura e obtidos por ensaios de calibração, foram estabelecidos há mais de cinco décadas, como os valores estabelecidos por Orlando Filho (1983) e Malavolta (2006) (Tabela 6.1) e por Raij et al. (1996) (Tabela 6.2), bem como têm sido replicados, difundidos e, rotineiramente, utilizados para diagnose de plantas, mesmo que não reflitam adequadamente as condições tecnológicas e práticas agrícolas atualmente adotadas (Silva et al., 2017).

A utilização desses valores de referência pode resultar em elevada quantidade de diagnósticos imprecisos, ou seja, incapazes de identificarem corretamente o verdadeiro estado nutricional da planta, conduzindo a recomendações equivocadas, com riscos de perda de produtividade e desperdício de recursos financeiros pelo uso excessivo e desnecessário de fertilizantes (Beverly; Hallmark, 1992; Traspadini, 2016). Essa possibilidade pode ser facilmente observada a

Tabela 6.1. Teores de macro e micronutrientes considerados adequados para a cana-de-açúcar e suas respectivas épocas de amostragem (3 ou 4 meses).

Época de amostragem	Mês	Nutriente					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		(g kg ⁻¹)					
Cana-planta	4(1)	10–21	2,0–2,4	11–13	08–10	2–3	2,5–3,0
Cana-soca	4(1)	20–22	1,8–2,0	13–15	5–7	2–3	2,5–3,0
Cana-planta	4(2)	23	1,7–1,8	8,8–10	–	–	–
Cana-soca	4(2)	20–22	2,1–2,2	10–15	–	–	–
Cana-planta	3(3)	20–22	2,0–2,4	11–13	9–11	2–3	2–3
Cana-soca	3(3)	20–22	2,0–2,4	01–11	9–11	2–3	2–3

Época de amostragem	Mês	B	Cu	Zn	Mn	Fe
		(mg kg ⁻¹)				
Cana-planta	4(1)	–	–	15–26	–	–
Cana-soca	4(1)	–	–	23–24	–	–
Cana-planta	4(2)	–	8–10	–	–	245–507
Cana-soca	4(2)	–	8,0–11	–	–	86–140
Cana-planta	4(3)	–	9,5–13,7	–	–	–
Cana-soca	4(3)	–	11,5–12,7	–	–	–
Cana-planta	4(4)	–	–	–	–	160–335
Cana-soca	4(4)	–	–	–	–	174–392
Cana-planta	-(5)	–	–	–	–	192–249
Cana-soca	-(5)	–	–	–	138–222	–
Cana-planta	4(6)	15–50	8–10	25–30	100–250	200–500
Cana-soca	4(6)	–	8–10	25–50	50–125	80–150

Os valores foram obtidos pela coleta da folha na posição +3 (1, 2, 3, 4, 5) e da folha +1 (6), retirando-se os 20 cm centrais e excluindo-se a nervura central.

Fonte: Adaptado de Reis Júnior e Monnerat (2002a).

partir das discrepâncias entre as faixas de suficiência recomendadas por diferentes autores, especialmente quando se considera o cálcio (Ca), o cobre (Cu), o manganês (Mn) e o zinco (Zn) (Tabela 6.2).

Na prática, sendo as condições edafoclimáticas e o nível tecnológico dos sistemas atuais de produção da cana-de-açúcar distintos daqueles para os quais foram obtidos os padrões nutricional-

nais, a aplicabilidade do uso desses valores de referência é cada vez mais reduzida (Mostashari et al., 2018). Outra fraqueza desse processo de diagnose é que o uso do ensaio de calibração pressupõe que o desenvolvimento, o crescimento e a produtividade da cultura estejam vinculados unicamente à disponibilidade do nutriente no solo (Kurihara et al., 2013), enquanto, em condições reais, vários fatores atuam e

Tabela 6.2. Faixa de Suficiência (FS) de macro e micronutrientes em folha de cana-de-açúcar.

Nutriente	Malavolta (2006) ⁽¹⁾	Raij et al. (1996) ⁽²⁾
	(g kg ⁻¹)	
N	19,0–21,0	18,0–25,0
P	2,0–2,4	1,5–3,0
K	11,0–13,0	10,0–16,0
Ca	8,0–10,0	2,0–8,0
Mg	2,0–3,0	1,0–3,0
S	2,0–3,0	1,5–3,0
	(mg kg ⁻¹)	
Cu	8,0–10,0	6,0–15,0
Mn	100,0–250,0	25,0–250,0
Zn	25,0–50,0	10,0–50,0

⁽¹⁾ Amostragem da folha + 1 (folha mais alta com colarinho visível “TVD”), retirando-se os 20 cm centrais e excluindo-se a nervura central, no período entre 4 a 6 meses depois da emergência do broto. ⁽²⁾ Amostragem da folha +3 (terceira folha mais alta com colarinho visível), no terço mediano da folha, com descarte da nervura central, durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar.

interagem em cada unidade de produção (Rodríguez; Rodríguez, 2000).

Além disso, o custo de implantação dos ensaios de calibração, sejam eles o tempo, o financeiro ou o intelectual, contribui para a baixa velocidade de atualização dos valores-padrão. No intuito de superar essas limitações e obter valores de referência mais representativos das condições atuais de cultivo, sem a necessidade de se implantar ensaios de calibração, foram desenvol-

vidos procedimentos matemáticos para estimar esses valores de referência: Distribuição Normal Reduzida (DNR) (Maia et al., 2001) e Chance Matemática (ChMat) (Wadt et al., 1998). A inovação desses métodos está na utilização de dados de monitoramento nutricional de lavouras comerciais em substituição aos obtidos por meio de ensaios de calibração.

Distribuição Normal Reduzida

O método da Distribuição Normal Reduzida (DNR) tem como premissa a relação entre o teor nutricional e a produtividade, ao assumir que, dentro de alguns limites, um aumento no teor nutricional corresponderá a uma variação direta e proporcional na produtividade da cultura. Com base nessa relação, é obtido o NC para um teor que corresponda a 90% da produtividade máxima (Maia et al., 2001). Esse procedimento foi utilizado para obter valores de referências a partir de canaviais do município de Campos dos Goytacazes, RJ (Tabela 6.3) (Santos et al., 2013).

Método da Chance Matemática

Enquanto o método da DNR visa estimar o NC, o método da Chance Matemática (ChMat) tem como finalidade obter os valores de referência para as faixas de suficiência (Wadt et al., 1998, 2013). O procedimento consiste em determinar

Tabela 6.3. Nível crítico (NC) para macro e micronutrientes obtido pelo método da Distribuição Normal Reduzida (DNR) para cana-de-açúcar, em 1996–1997.

Macronutriente						Micronutriente		
N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
(g kg ⁻¹)						(mg kg ⁻¹)		
14,5	1,8	9,9	4,0	2,4	1,6	4,8	79,5	12,9

Valores obtidos da coleta da folha na posição +3, retirando-se os 20 cm centrais e excluindo-se a nervura central; coleta de plantas com 4 meses de desenvolvimento.

Fonte: Santos et al. (2013).

as classes dos teores nutricionais, ou faixa de suficiência (FS), que correspondam à maior probabilidade de se obter lavouras de alta produtividade (Wadt et al., 2013). O processo consiste em avaliar como se distribui a relação de lavouras de baixa e alta produtividade e a frequência de lavouras de elevada produtividade, nas diferentes classes de teores nutricionais, em que classes de teores de nutrientes que apresentam uma chance matemática relativa acima de determinado valor (por exemplo, 40%) são consideradas como adequadas, sendo consideradas classes de deficiência e de excesso as demais classes de teores (Wadt et al., 2013).

Na cana-de-açúcar, o método da ChMat foi utilizado para determinar as faixas de suficiência de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Tabela 6.4), em canaviais cultivados na região de Alagoas, estabelecidos por Moura Filho et al. (2010), citado por Moura Filho et al. (2014). Os valores obtidos pela técnica foram consistentes com aqueles obtidos em outros trabalhos usando o procedimento do ensaio de calibração (Orlando Filho, 1983; Malavolta, 2006).

Outro trabalho, no mesmo sentido, foi realizado por Santos et al. (2013), que estimaram a FS para macro e micronutrientes, na cana-de-açúcar (Tabela 6.4). Eles identificaram que a amplitude das classes de teores nutricionais

para os teores de suficiência foi mais estreita que aquelas relatadas na literatura, principalmente em comparação com os valores indicados por Raij et al. (1996) e Malavolta (2006).

Outros procedimentos utilizados para a obtenção dos valores de referência univariados

Padrões nutricionais para a interpretação do NC ou FS também podem ser obtidos, matematicamente, utilizando-se como critério a identificação de faixas de valores adequados para os teores dos nutrientes, em lavouras nutricionalmente sadias e produtivas, usando-se os métodos DRIS ou CND para identificar a condição de sanidade nutricional. Nesse procedimento, parâmetros estatísticos média e desvio-padrão das lavouras nutricionalmente sadias são adotados para definir os valores de NC e da FS.

Ao usar essa abordagem, Santos et al. (2013) determinaram faixas de suficiências para macro e micronutrientes utilizando-se o DRIS e o CND para identificar as lavouras nutricionalmente sadias, e a partir destas, a faixa de teores adequados em canaviais de cana-planta e cana-soca, na região do município de Campos dos Goytacazes, RJ (Tabela 6.5).

As faixas de suficiência obtidas, tanto pelo DRIS como pelo CND, foram de menor amplitude que aquelas obtidas pelos ensaios de calibração

Tabela 6.4. Faixa de suficiência (FS) para macro e micronutrientes obtida pelo método da Chance Matemática (ChMat) para cana-de-açúcar, em 1996–1997.

	Macronutriente						Micronutriente		
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	(g kg ⁻¹)						(mg kg ⁻¹)		
⁽¹⁾	12,5–20,8	1,0–2,1	8,9–14,7	1,7–4,0	0,1–1,4	0,7–1,8	–	–	–
⁽²⁾	13,0–15,0	2,5–2,8	11,2–14,3	2,6–3,6	3,7–4,3	1,9–2,3	4,6–6,6	56,7–73,0	24,8–27,9

⁽¹⁾ Valores de referência para macronutrientes Moura Filho et al. (2010), citado por Moura Filho et al. (2014).

⁽²⁾ Valores de referência para macro e micronutrientes (Santos et al., 2013).

Valores obtidos da coleta da folha na posição +3, retirando-se os 20 cm centrais e excluindo-se a nervura central; coletas de plantas com 4 meses de desenvolvimento.

Tabela 6.5. Faixa de Suficiência (FS) para macro e micronutrientes obtida pelo Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) e Diagnóstico da Composição Nutricional (CND) para cana-de-açúcar.

	Macronutriente						Micronutriente		
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
	(g kg ⁻¹)						(mg kg ⁻¹)		
DRIS	12,6–15,2	1,8–2,3	9,6–12,5	2,6–3,6	2,0–3,0	1,5–1,9	3,8–5,0	55,9–78,3	12,6–14,8
CND	12,6–16,5	1,5–2,2	7,6–12,0	3,3–4,8	1,6–3,2	1,3–1,8	3,8–5,6	52,7–86,3	13,0–16,4

Valores obtidos da coleta da folha na posição +3, retirando-se os 20 cm centrais e excluindo-se a nervura central; coleta de plantas com 4 meses de desenvolvimento.

Fonte: Santos et al. (2013).

pelo método da ChMat; o que pode ser vantajoso quando considerada a probabilidade de se reduzir casos de diagnóstico “adequado” para plantas com baixa produtividade (Santos et al., 2013), aumentando-se a frequência de recomendação de ajustes na adubação.

Convém, contudo, ressaltar que para todos os procedimentos utilizados em substituição aos ensaios de calibração, inclusive com os critérios DNR e ChMat, não há validação de campo para os valores de referência propostos, o que implica um elevado grau de incerteza quanto à adequação desses padrões nutricionais.

Métodos bivariados

Métodos de diagnose bivariados são caracterizados por correlacionar os nutrientes, par a par, um nutriente com os demais, como aplicado no método DRIS, que utiliza relações nutricionais em vez de teores nutricionais isolados para interpretar a análise de tecidos (Beaufils, 1973).

Essas relações duais são quocientes (e, em alguns casos, produtos) entre os teores dos nutrientes, podendo ser apresentados na forma direta (X/Y) ou indireta (Y/X), quando se tem o nutriente X em análise. Essas relações são normalizadas por meio de funções e podem também passar por transformação logarítmica (Beverly, 1993a). Beaufils (1973) recomenda que sejam testadas todas as formas de relações possíveis entre os

nutrientes a fim de se identificar quais possuem maior capacidade de discriminar plantas nutricionalmente sadias daquelas não sadias.

As funções DRIS descrevem essas relações por meio de indicadores padronizados e adimensionais. Denomina-se por índice DRIS a média aritmética de todas as funções DRIS de um determinado nutriente com os demais nutrientes avaliados, ou mais especificamente a média dos desvios das relações que contêm esse nutriente em relação aos seus respectivos valores ótimos (Bailey et al., 1997). Esses índices, quando o valor tende a zero, indicam o estado de equilíbrio nutricional; valores negativos e afastados de zero expressam a tendência à insuficiência, e valores positivos e afastados de zero indicam a tendência ao excesso (Wadt, 2005). Quanto mais negativo for um índice para um determinado nutriente, mais provável é que o nutriente esteja presente em níveis insuficientes em relação a outros nutrientes (McCray et al., 2019).

Uma das vantagens do uso de relações binárias é que a variação no teor do nutriente em virtude das taxas de acumulação de matéria seca é minimizada. Dada uma relação entre os teores de dois nutrientes quaisquer (nx , ny), expressa pelo teor do nutriente em base da matéria seca da planta (qx/MS e qy/MS), ao se calcular a relação binária (nx/ny), tem-se que ($qx/MS / qy/MS$) resulta em qx/qy . Ou seja, relações binárias entre nutrientes têm como vantagem isolar os efeitos

não controlados sobre a acumulação de biomassa, focando a diagnose nas taxas de acumulação dos nutrientes (Hallmark et al., 1987).

Esse artifício é muito vantajoso na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar, dado à alta plasticidade ambiental dessa espécie em relação à produção de biomassa. Com esse artifício, minimizam-se variações ambientais por causa do momento da coleta das amostras foliares, que quando interpretadas pelos métodos univariados, podem resultar em falsos prognósticos (falsa deficiência ou falso excesso), induzindo a erros na interpretação do estado nutricional, o que acaba por desencorajar seu uso pelos produtores, fato muito frequente no setor sucroalcooleiro do Brasil.

De acordo com Savita et al. (2016), o método DRIS recebeu atenção considerável desde a sua introdução, pois é descrito como um sistema abrangente, que identifica todos os fatores nutricionais que limitam a produção agrícola. Assim, o método tem sido utilizado para diversas culturas e por diversos países (Traspadini et al., 2018), inclusive para cana-de-açúcar, que possui trabalhos usando-se o método na África (Meyer, 1975; Beaufils; Sumner, 1976), na Flórida (Elwali; Gascho, 1984; McCray et al., 2018, 2019), no México (Ruíz-Bello; Cajuste, 2002), na Venezuela (Gálíndez et al., 2009) e no Brasil (Zambello Júnior; Orlando Filho, 1979; Píperas et al., 2009; Calheiros et al., 2018a, 2018b; Silva et al., 2020a, 2020b, 2020c).

Ao trabalhar com cana-de-açúcar, na África do Sul, Meyer (1975) estudou o efeito da posição da folha na planta, da idade e da época de coleta das amostras e de variedades sobre os diagnósticos obtidos pelo método DRIS. O autor concluiu que, a partir de estudos de correlação, uma interpretação baseada em várias proporções de N, P e K pode melhorar as chances de um diagnóstico correto, desde que as condições de amostragem tenham sido padronizadas. Já Sumner e Beaufils (1976) observaram que o

DRIS poderia ser aplicado independentemente da idade da cultura, da flutuação sazonal e do regime interno de umidade, com base nos efeitos do rendimento da cana-de-açúcar. Eles estabeleceram normas para as relações entre os nutrientes N, P, K, Ca e Mg, baseadas em observações de campo obtidas de produtores de cana-de-açúcar da, África do Sul (Tabela 6.6).

Tabela 6.6. Normas DRIS estabelecidas para cana-de-açúcar por Beaufils e Sumner (1976) para cana-de-açúcar, na África do Sul.

Relação	Média	CV (%)
P:N	0,122	16,0
N:K	1,511	21,0
N:Ca	7,813	28,0
N:Mg	8,607	27,0
P:K	0,183	24,0
Ca:P	1,146	28,3
P:Mg	1,039	28,6
Ca:K	0,205	34,7
Mg:K	0,186	36,2
Ca:Mg	1,158	31,5

CV: coeficiente de variação.

Valores de N, P, K, Ca e Mg expressos em g kg⁻¹.

Valores obtidos da amostragem da folha mais alta com colarinho visível (TVD).

Fonte: Adaptado de Beaufils e Sumner (1976).

Em trabalho realizado no sul da Flórida, Estado Unidos (EUA), Elwali e Gascho (1984) estabeleceram as normas DRIS para as relações de macro e micronutrientes de amostras foliares obtidas de campos comerciais e parcelas experimentais de culturas de cana-planta e primeira-soca (Tabela 6.7).

Em seu estudo, Elwali e Gascho (1984) utilizaram a resposta produtiva da cana-de-açúcar, em função da aplicação de P e K, para avaliar a qualidade dos índices DRIS atribuídos a essas parcelas. Eles concluíram que o método foi satisfatório para a diagnose da cultura e que a

Tabela 6.7. Normas DRIS estabelecidas para cana-de-açúcar por Elwali e Gascho (1984) para cana-de-açúcar, na África do Sul.

Relação	Média	DP	Relação	Média	DP
N:p	8,706	1,199	Fe:100 Ca	2,414	0,634
N:K	1,526	0,257	100 Mg:Fe	0,329	0,092
K:P	5,633	1,038	Zn:100 N	0,106	0,021
Ca:N	0,151	0,032	Zn:100 P	0,908	0,216
Ca:P	1,314	0,349	Zn:100 K	0,157	0,043
Ca:K	0,222	0,063	100 Ca:Zn	1,473	0,398
Ca:Mg	1,373	0,381	100 Mg:Zn	1,100	0,318
Mg:N	0,113	0,028	Fe:Mn	3,302	2,191
Mg:P	0,984	0,284	Zn:Fe	0,312	0,080
Mg:K	0,163	0,052	Zn:Mn	1,008	0,748
100 N:Mn	9,401	6,123	10 N:Cu	4,998	1,885
100 P:Mn	1,086	0,686	P:Cu	0,588	0,239
100 K:Mn	4,615	3,194	Cu:10 K	0,330	0,123
100 Ca:Mn	1,502	1,089	10 Ca:Cu	0,743	0,324
100 Mg:Mn	1,129	0,869	10 Mg:Cu	0,552	0,228
Fe:100 N	0,351	0,057	Fe:10 Cu	1,733	0,693
Fe:100 P	2,995	0,600	Mn:100 Cu	0,998	0,952
Fe:100 K	0,550	0,120	Zn:10 Cu	0,522	0,201

Valores obtidos da amostragem da folha mais alta com o colarinho visível (TVD).

DP: desvio-padrão.

Fonte: Adaptado de Elwali e Gascho (1984).

aplicação do equilíbrio adequado de nutrientes pode melhorar a produção de açúcar.

Além disso, eles também verificaram que houve aumento significativo na produção da cana-de-açúcar quando a adubação foi guiada pelos diagnósticos do método DRIS, ao contrário do ocorrido quando a fertilização foi definida com base na análise de solo ou pela diagnose dada pelo nível crítico foliar (Tabela 6.8). Esses resultados foram atribuídos ao melhor balanço nutricional, revelado pelos índices DRIS no final da temporada (Elwali; Gascho, 1984).

Em trabalho realizado no México, Ruíz-Bello e Cajuste (2002) utilizaram os índices DRIS para

recomendar a adubação de N, P e K em cana-de-açúcar, com a aplicação de quatro doses dos nutrientes (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N, P e K). Os autores concluíram que a abordagem DRIS identifica interações nutricionais, bem como identifica adequadamente as necessidades nutricionais e os nutrientes que não restringem a produção, o que permite aumentar a dose de fertilizante conforme aumenta a exigência da cultura, corrigindo desequilíbrios nutricionais sem superestimar a dosagens das adubações.

Por sua vez, em trabalho semelhante realizado por McCray et al. (2019), não houve resposta na produtividade da cana-de-açúcar, cultivada na

Tabela 6.8. Efeitos dos métodos de fertilização guiada pelo Índice do balanço nutricional (IBN) sobre os nutrientes foliares e a produtividade para cana-de-açúcar.

Método	Índice do Balanço Nutricional			Produtividade	
	N-P-K	N-Mg	N-Cu	Bagaço	Açúcar
	Índice			(t ha ⁻¹)	
Análise do solo	8	34	46	75,4	7,9
Análise foliar – NC	3	21	36	74,3	7,7
Análise foliar – DRIS	3	13	24	85,9	9,4
DMS _{0,05}	6	11	10	5,3	0,7

DMS: diferença mínima significativa.

NC: Nível Crítico.

DRIS: Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação.

Fonte: Adaptado de Elwali e Gascho (1984).

Flórida, em razão da fertilização recomendada com base nos índices DRIS negativos, que indicam deficiência nutricional, calculados a partir da amostragem de lavouras de cana-de-açúcar. Foi observado que houve pequenos aumentos nas concentrações foliares de Mn e Zn ou nos índices DRIS, mas foram insuficientes para aumentar a produção de cana-de-açúcar. Os autores concluíram que os níveis de resposta à produção, usando essa abordagem, não foram suficientes para serem lucrativos. É possível que isso tenha ocorrido em razão de as plantas analisadas já apresentarem boas condições nutricionais, tendo em vista que a produtividade teve amplitude de 83 a 107 t ha⁻¹, sugerindo que os índices negativos observados pudessem estar associados a fatores não nutricionais.

Galíndez et al. (2009) desenvolveram normas DRIS preliminares como alternativa para a interpretações do estado nutricional da cana-de-açúcar cultivada na Venezuela (Tabela 6.9). De acordo com os autores, os resultados obtidos conferiram confiabilidade aos padrões por causa da normalidade verificada do banco de dados e por terem sido verificadas coincidências com os valores encontrados na literatura para cana-de-açúcar.

Vale considerar que, conforme evidenciado por Reis Júnior e Monnerat (2002b), podem ser encontrados diagnósticos diferentes com as normas DRIS estabelecidas para a mesma cultura, mas sob diferentes condições de crescimento. Esses autores observaram que o diagnóstico foliar realizado, a partir dos padrões DRIS brasileiros, gerados a partir de um pequeno número de amostras, não coincidiu com o diagnóstico obtido a partir de padrões gerados com um grande número de amostras, como os da África do Sul e dos EUA, mostrando que os padrões brasileiros eram mais adequados para cana-de-açúcar cultivada no Brasil. Segundo os autores, isto aponta para a necessidade de se obter padrões DRIS para cada condição produtiva, uma vez que cada uma possui condições edafoclimáticas particulares e variedades específicas. Todavia, deve-se ter em conta que o resultado pode ter sido por causa da falta de representatividade das lavouras canavieiras brasileiras estudadas na obtenção das normas DRIS norte-americanas ou sul-africanas.

No Brasil, o DRIS foi aplicado pela primeira vez na cultura da cana-de-açúcar por Zambello Júnior e Orlando Filho (1979), que estudaram sua validade para soqueiras cultivadas em solo Terra Roxa Estruturada, no estado de São Paulo.

Tabela 6.9. Média e desvio-padrão (DP) das normas pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), na população com alta produtividade de folhas de cana-de-açúcar.

Relação	Média	DP	Relação	Média	DP
K:P	3,83	0,65	Na:Mg	14,95	3,40
Ca:Cu	0,24	0,07	Na:Cu	0,78	0,22
Mg:Cu	0,05	0,012	K:Zn	0,35	0,06
Zn:Mg	2,58	0,52	N:Cu	0,88	0,29
Mn:Mg	4,08	0,87	P:Cu	0,14	0,05
B:Mg	43,78	12,59	Zn:N	0,14	0,02
Zn:Cu	0,13	0,035	K:Cu	0,53	0,21
Fe:Cu	42,27	10,7	K:Cu	3,20	0,98
Mn:Cu	0,21	0,05	B:N	2,32	0,58
B:Cu	2,29	0,80	Mn:N	0,22	0,03
Zn:Fe	0,003	0,0006	Zn:P	0,90	0,021
B:Zn	17,40	5,53	Mn:P	1,40	0,20
Mn:Fe	0,005	0,0006	B:P	15,08	4,38
B:Fe	0,05	0,01			

Valores obtidos da amostragem da folha mais alta com colarinho visível (TVD), saudável, na haste principal, entre os meses de maio e julho de 2004, pouco antes da indução floral.

Fonte: Adaptado de Galíndez et al. (2009).

Nesse estudo, o N foi identificado como elemento mais deficiente e o equilíbrio nutricional ocorreu em torno da dose de 150 kg N ha⁻¹.

Zambello Júnior et al. (1980) avaliaram o efeito de diferentes épocas da amostragem foliar de cana-soca cultivada em quatro Grandes Grupos de Solos submetidos a doses de N, P e K no estado de São Paulo. Os resultados indicaram que o diagnóstico do DRIS foi praticamente inalterado com a época de amostragem foliar e pode ser aplicado nos diversos solos estudados. Os autores também apresentaram o comportamento do balanço de N, P e K em função da aplicação de P e seu efeito na produtividade (Tabela 6.10).

Na Tabela 6.10, é possível observar que o P foi responsável por um aumento médio de 11,4 t ha⁻¹ cana, quando diagnosticado e recomendado pelo método DRIS. Mesmo com a dosagem bastante baixa de P utilizada nos ensaios, os

autores relatam que foi possível um diagnóstico eficiente pelo método, demonstrando a sensibilidade dos índices de DRIS na diagnose nutricional da cana-de-açúcar (Zambello Júnior et al., 1980).

Em estudo semelhante, Zambello Júnior et al. (1980) utilizaram a resposta produtiva da cana-de-açúcar a doses de NPK, cultivada em quatro grandes grupos de solos no estado de São Paulo para avaliar o comportamento dos diagnósticos do método DRIS entre as diferentes épocas da amostragem foliar de soqueiras cultivadas. Os resultados indicaram que o diagnóstico do DRIS foi praticamente inalterado com a época de amostragem foliar e que pode ser aplicado independentemente do grupo de solos.

Em trabalho realizado por Píperas et al. (2009), foi sugerido que o ponto de corte de 140 t ha⁻¹ é o mais indicado para separar as lavouras de

Tabela 6.10. Efeito de Fósforo com as doses mais elevadas de nitrogênio e potássio, balanço de NPK pelo DRIS, em ordem decrescente de necessidade e as respectivas produtividades.

Solo ⁽¹⁾	Tratamento ⁽²⁾	DRIS	(t ha ⁻¹) cana	↑ (t ha ⁻¹) cana
LE (I)	N3 P0 K2	P>N>K	101	+3
	N3 P1 K2	N>P>K	104	
LE	N3 P0 K2	P>N>K	92	+30
	N3 P1 K2	P>N>K	122	
LVa	N3 P0 K2	P>N>K	62	+10
	N3 P1 K2	P>N>K	72	
PVls	N3 P0 K2	P>N>K	73	+2
	N3 P1 K2	N>P>K	75	
LR	N3 P0 K2	K>P>N	68	+12
	N3 P1 K2	P>K>N	80	

⁽¹⁾ Latossol Roxo (LR), Podzólico Vermelho-Amarelo — variação Laras (PV1s), Latossol Vermelho-Amarelo — fase arenosa (LVa) e o Latossol Vermelho Escuro-orto (LE).

⁽²⁾ Tratamentos: N3 = 180 kg ha⁻¹ de N; P0 = 0 kg ha⁻¹ P₂O₅; P2 = 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ e K2 = 180 kg ha⁻¹ K₂O.

Fonte: Adaptado de Zambello Júnior et al. (1980).

baixa e alta produtividade, tendo em vista que esse foi ponto de corte que apresentou melhor correlação com o Índice de Balaço Nutricional (IBN) da cana-de-açúcar, em Paraguaçu, SP. As lavouras definidas como de alta produtividade pelo ponto de corte são usadas para estabelecer as normas DRIS, salientando que, quanto mais alto o nível de corte, mais restritivo será o grupo de plantas selecionadas. Tendo como objetivo a melhora da acurácia dos diagnósticos obtidos com o DRIS, Guimarães (2014) desenvolveu normas DRIS gerais e específicas para cana-soca e cana-soca de primeiro e segundo ano, para a região Sul de Goiás. Segundo o autor, as normas específicas para cana-soca de primeiro e segundo ano se diferenciaram entre si e da norma geral. Entretanto, apesar das diferenças, houve relação positiva entre seus diagnósticos.

Silva (2018), ao realizar a diagnose nutricional de amostras provenientes de plantio comercial de cana-de-açúcar cultivada na Paraíba, interpretadas com base em normas de referências estabelecidas para Alagoas, observou que 73% dos nutrientes apresentaram situação de equilíbrio nutricional. Embora isso tenha sido atribuído à inadequação das normas DRIS utilizadas (normas DRIS não representativas das condições de sua aplicação), também representa uma fraqueza do sistema DRIS, pois essa tendência deve-se à própria distribuição normal das relações nutricionais em que, aproximadamente, 67% dos casos estão situados entre +1 e -1 desvio-padrão da média amostral.

Todavia, deve-se destacar que a maioria dos autores considera que os valores de referência devem ser obtidos para cada região de cultivo da cultura, como normas DRIS estabelecidas para a diagnose nutricional de cana-de-açúcar cultivada no norte fluminense (Reis Júnior; Monnerat, 2002b) (Tabela 6.11), ou normas DRIS estabelecidas para cana-de-açúcar cultivadas no estado de Alagoas (Calheiros et al., 2018a) (Tabela 6.12).

Em trabalho realizado a partir do mesmo conjunto de lavouras canavieiras, Calheiros et al. (2018b) estabeleceram normas DRIS para cana-de-açúcar aplicando diferentes critérios de seleção das relações duais dos nutrientes e avaliaram sua influência na diagnose dos nutrientes da cana-de-açúcar (Tabela 6.13). Os resultados indicam que os diagnósticos nutricionais foram influenciados pelos critérios utilizados para a geração de padrões DRIS. Os autores sugerem que, na seleção das relações duais, devem ser adotados critérios com elevadas razões de variância entre a população de baixa e alta produtividade, mas com menor coeficiente de assimetria.

Calheiros et al. (2018a) avaliando a distribuição da frequência com que os nutrientes são indicados com maiores probabilidades de respostas positivas à fertilização, notaram que a ordem foi

Tabela 6.11. Média e desvio-padrão (DP) das normas pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), da população com alta produtividade de folhas de cana-de-açúcar.

Relação	Média	DP	Relação	Média	DP
N:P	7,21	1,456	K:Mg	5,07	1,648
N:K	1,24	0,324	Cu:K	0,43	0,154
Ca:N	0,24	0,103	Mn:K	3,17	1,087
N:Mg	6,18	2,200	K:Zn	0,88	0,161
N:Cu	3,04	0,562	Ca:Mg	1,34	0,433
Mn:N	4,95	1,000	Ca:Cu	0,71	0,228
N:Zn	1,05	0,135	Ca:Mn	0,05	0,026
K:P	6,03	1,471	Ca:Zn	0,25	0,087
Ca:P	1,66	0,571	Cu:Mg	2,05	0,793
Mg:P	1,30	0,426	Mn:Mg	30,30	11,969
Cu:P	2,35	0,313	Zn:Mg	5,77	1,714
Mn:P	36,30	12,814	Mn:Cu	15,30	4,881
Zn:P	6,87	1,195	Cu:Zn	0,35	0,059
Ca:K	0,30	0,169	Mn:Zn	5,23	1,412

Valores obtidos da coleta da segunda folha +3, com o colarinho visível, aos 4 meses após o brotamento da cana-de-açúcar.

Fonte: Reis Júnior e Monnerat (2002b).

Ca, Mg, K, S, Mn, Cu, Zn e B. Seguindo a mesma abordagem, Silva e Chiaia (2021) verificaram que a ordem decrescente da limitação nutricional variou entre os ciclos e metodologias utilizadas.

Métodos multivariados

O método multivariado, denominado de Diagnose da Composição Nutricional, do inglês *Compositional Nutrients Diagnosis* (CND), desenvolvido por Parent e Dafir (1992), diferencia-se do método DRIS por utilizar uma relação multivariada para cada nutriente. Essa relação multivariada refere-se ao quociente entre o nutriente em análise e a média geométrica da composição nutricional, de modo que relaciona entre um teor nutricional com todos os demais nutrientes, em uma única relação, na forma de quociente (Traspadini et al., 2018; Silva et al., 2020a).

O método considera a premissa de que o tecido foliar é considerado um sistema fechado, formado por componentes quantificados (nutrientes) e por componentes não quantificados, que compõe a matéria seca do material. A relação multivariada expressa a dependência entre os teores nutricionais, pois qualquer variação, em qualquer uma das partes, deve afetar os valores relativos de outras partes do conjunto de nutrientes (Parent; Dafir, 1992).

Assim como no DRIS, o método CND apresenta índices nutricionais que podem ser negativo, zero ou positivo, além de também adotar o conceito de balanço nutricional (McCray et al., 2019) e possibilitar a ordenação dos nutrientes quanto a sua limitação, a partir do mais deficiente até o mais excessivo (Gott et al., 2017; Silva; Chiaia, 2021).

Tabela 6.12. Média e desvio-padrão (DP) das relações entre nutrientes, selecionados como as normas do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), para cana-de-açúcar, no Nordeste do Brasil.

Relação	Média	DP	Relação	Média	DP	Relação	Média	DP
N:P	9,467	1,722	K:Ca ⁽¹⁾	7,027	1,404	Cu:Mg ⁽¹⁾	20,059	6,221
K:N ⁽¹⁾	6,112	1,076	Mg:K ⁽²⁾	3,612	0,534	B:Mg	1,172	0,254
N:Ca	4,784	1,399	K:S	2,406	0,564	Zn:S	4,544	1,074
Mg:N ⁽²⁾	13,770	4,387	Zn:K ⁽¹⁾	15,684	4,281	Fe:S	1,141	0,257
N:S	15,073	5,126	Fe:K	4,710	1,263	Mn:S	4,322	1,387
Zn:N ⁽²⁾	9,459	2,600	K:Mn ⁽²⁾	4,035	0,698	Cu:S ⁽¹⁾	36,772	9,436
N:Fe ⁽²⁾	37,233	7,181	Cu:K ⁽²⁾	43,070	11,323	B:S	3,001	0,878
N:Mn ⁽²⁾	6,565	1,221	K:B ⁽²⁾	115,697	23,061	Fe:Zn ⁽¹⁾	31,391	9,213
Cu:N ⁽²⁾	25,432	4,859	Mg:Ca ⁽¹⁾	6,242	1,808	Zn:Mn ⁽¹⁾	2,027	0,580
N:B ⁽¹⁾	19,210	3,711	S:Ca ⁽²⁾	5,041	0,693	Zn:Cu ⁽¹⁾	2,367	0,138
P:K ⁽²⁾	18,073	2,931	Zn:Ca ⁽¹⁾	2,077	0,104	B:Zn ⁽¹⁾	6,052	1,688
P:Ca ⁽¹⁾	1,468	0,317	Fe:Ca	2,232	0,265	Fe:Mn ⁽¹⁾	4,657	1,278
P:Mg ⁽¹⁾	8,680	2,806	Ca:Mn ⁽³⁾	9,633	2,037	Cu:Fe ⁽²⁾	9,388	2,176
P:S ⁽¹⁾	16,568	6,515	Cu:Ca ⁽¹⁾	11,966	3,576	Fe:B	5,392	1,641
P:Zn ⁽³⁾	121,469	29,790	B:Ca ⁽¹⁾	4,490	0,675	Cu:Mn ⁽²⁾	4,468	1,169
Fe:P	26,485	7,400	Mg:S ⁽¹⁾	3,681	0,623	B:Mn ⁽²⁾	5,374	1,198
P:Mn ⁽³⁾	6,894	1,018	Zn:Mg	1,600	0,270	Cu:B ⁽²⁾	48,540	12,093
Cu:P ⁽¹⁾	23,988	5,921	Fe:Mg	3,569	0,520			
B:P	5,040	1,021	Mg:Mn ⁽³⁾	11,00	2,563			

⁽¹⁾ Relação multiplicada por 10. ⁽²⁾ Relação multiplicada por 100. ⁽³⁾ Relação multiplicada por 1000.

Valores obtidos da amostragem do terço médio das folhas +3 de cana-de-açúcar.

Fonte: Adaptado de Calheiros et al. (2018a).

O método CND tem sido utilizado em várias espécies agrícolas, mas ainda há poucos trabalhos com a cana-de-açúcar (Santos et al., 2013; Calheiros et al., 2018a; Santana et al., 2020; Silva et al., 2020b; Silva; Chiaia, 2021), embora esse método apresente maior facilidade matemática na obtenção dos índices de equilíbrio nutricional.

Em trabalho realizado por Calheiros et al. (2018a), foram estabelecidos padrões CND para cana-de-açúcar cultivada no estado de Alagoas (Tabela 6.14). Nesse estudo, além de se estabelecer os valores de referência, foi feita uma comparação entre os métodos DRIS e CND. Os

autores verificaram que o diagnóstico nutricional do método CND, interpretado pela Resposta Potencial de Adubação (PRA), foi diferente dos métodos DRIS somente para os nutrientes N e Mn. Nesse estudo, também foi verificado, com base nos índices nutricionais, que há uma adubação excessiva com N e deficiência de Ca, Mg, K, S, Mn, Cu, Zn e B, em cana-de-açúcar no nordeste do Brasil.

Em estudo semelhante ao realizado por Calheiros et al. (2018a), Silva e Chiaia (2021) compararam a interpretação do estado nutricional dos métodos DRIS e CND. No estudo, os autores

Tabela 6.13. Média e desvio-padrão (DP) das relações entre nutrientes selecionados como normas DRIS para cana-de-açúcar, obtidos pelo critério: relações nutricionais com maior razão de variância entre a população de baixa e alta produtividade e menor coeficiente de assimetria com normalização total dos dados.

Relação	Média	DP	Relação	Média	DP	Relação	Média	DP
N/P	10,695	2,250	K/Ca	7,027	1,404	Mg/Mn ⁽³⁾	3,569	2,562
K/N ⁽¹⁾	2,386	0,304	Mg/ K	3,612	0,534	Cu/Mg ⁽¹⁾	3,440	0,421
N/Ca	2,226	0,594	K/S	2,406	0,564	B/Mg	1,172	0,254
Mg/N	12,770	4,387	Zn/K ⁽¹⁾	2,093	0,155	Zn/S	4,544	1,074
N/S	5,653	1,337	Fe/K	1,303	0,195	Fe/S	1,141	0,257
Zn/N ⁽¹⁾	2,629	0,386	K/Mn	4,035	0,698	Mn/S	4,322	1,387
N/Fe ⁽¹⁾	447,407	150,037	Cu/K ⁽²⁾	88,422	28,670	Cu/S ⁽¹⁾	72,389	22,952
N/Mn ⁽²⁾	6,565	1,221	K/ B ⁽¹⁾	45,530	7,055	B/S	3,001	0,878
Cu/N ⁽¹⁾	12,281	1,847	Mg/Ca ⁽¹⁾	2,945	0,730	Fe/Zn ⁽¹⁾	9,087	1,654
N/B ⁽¹⁾	39,640	10,342	S/Ca ⁽²⁾	5,041	0,693	Zn/Mn ⁽¹⁾	2,027	0,580
P/K ⁽²⁾	3,100	0,187	Zn/Ca ⁽¹⁾	2,077	0,104	Zn/Cu ⁽¹⁾	2,367	0,138
P/Ca	1,468	0,317	Fe/Ca	2,232	0,265	B/Zn ⁽¹⁾	2,727	0,630
P/Mg	3,158	0,698	Ca/Mn ⁽³⁾	9,633	2,037	Fe/Mn ⁽¹⁾	4,657	1,278
P/S ⁽¹⁾	5,980	1,639	Cu/Ca ⁽¹⁾	3,621	0,634	Cu /Fe	18,891	6,512
P/Zn	33,058	5,591	B/Ca ⁽¹⁾	4,490	0,675	Fe/B	1,510	0,253
Fe/P	3,830	0,386	Mg/S ⁽¹⁾	3,681	0,623	Cu/Mn ⁽²⁾	4,469	1,169
P/Mn	5,894	1,018	Zn/Mg	1,600	0,270	B/Mn ⁽²⁾	5,374	1,198
Cu/P	14,555	3,153	Fe/Mg	3,569	0,520	B/Cu ⁽¹⁾	11,827	1,749
B/P	2,059	0,329						

⁽¹⁾ Relação multiplicada por 10. ⁽²⁾ Relação multiplicada por 100. ⁽³⁾ Relação multiplicada por 1000.

Valores obtidos da amostragem do terço médio das folhas +3 de cana-de-açúcar.

Fonte: Adaptado de Calheiros et al. (2018b).

verificaram muita discrepância entre os diagnósticos apresentados pelas metodologias, especialmente para os nutrientes N, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Enquanto o DRIS indicava excesso ou equilíbrio nutricional, o CND apontava deficiência, sugerindo ser o método CND mais adequado para identificar situações de deficiência nutricional. Esses resultados demonstram a necessidade de se realizar um estudo mais aprofundado das técnicas para averiguar o motivo dessa distinção, já que na literatura e para a maioria das culturas, as diferenças entre os dois métodos são sutis.

Ainda nessa mesma linha de estudo, Silva et al. (2020b) avaliaram a qualidade do diagnóstico nutricional de P e testaram diferentes processos para definir a população de alta produtividade, das quais seriam estabelecidos os valores de referência. Eles observaram que as normas CND foram mais eficientes quando se utilizou a produtividade média das amostras (172 t ha⁻¹) para definir a população de referência do que quando se usou a fórmula de Beaufils (1973) para o cálculo da função DRIS.

Tabela 6.14. Média e desvio-padrão (DP) da relação multivariada entre os nutrientes (R) e da média geométrica dos constituintes da massa seca (MS), selecionados como padrões do Método da Composição Nutricional (CND) para cana-de-açúcar, no Nordeste do Brasil.

Relação multivariada ⁽¹⁾	Média	DP	Relação multivariada	Média	DP
MS	589.945	77.775	RS	0.722	0.299
RN	3.375	0.127	RZn	-3.625	0.244
RP	1.144	0.172	RFe	-2.525	0.209
RK	2.868	0.206	RMn	-3.469	0.568
Rca	1.852	0.265	RCu	-4.920	0.168
RMg	1.339	0.266	RB	-4.166	0.200

⁽¹⁾ Relação multivariada (R) entre os nutrientes N (RN), P (RP), K (RK), Ca (Rca), Mg (RMg), S (RS), Zn (RZn), Fe (RFe), Cu (RCu) e B (RB).

Valores obtidos da amostragem do terço médio das folhas +3 de cana-de-açúcar.

Fonte: Adaptado de Calheiros et al. (2018a).

Interpretação dos índices nutricionais

A interpretação dos índices nutricionais por índices DRIS ou CND pode ser feita pela ordem de limitação nutricional, a qual indica desde o nutriente de maior limitação por insuficiência até aquele com maior limitação por excesso, e pelo sinal dos índices, onde valores negativos indicam insuficiência, valores positivos indicam excesso e valores nulos indicam equilíbrio nutricional.

Todavia, nem sempre o índice negativo (ou positivo) deverá ser classificado como em estado de deficiência (ou excesso), tendo em vista que quando os valores estão tendendo a nulo (se aproximando de zero) podem ser considerados como equilibrado. Assim, foram desenvolvidos critérios para distinguir, dentre os valores negativos e positivos, aqueles que efetivamente indicam insuficiência ou excesso e aqueles que indicam equilíbrio nutricional.

Um procedimento possível para separar os nutrientes limitantes daqueles não limitantes é o critério do Potencial de Resposta a Adubação – PRA (Wadt, 2005), que possibilita interpretar os índices DRIS e CND com sua comparação direta com o índice de balanço nutricional médio

(IBNm). O IBNm é um indicativo do estado nutricional global da lavoura com valores variando de zero (indicando maior equilíbrio nutricional) até valores positivos. Esse método tem sido largamente utilizado em várias culturas agrícolas e em laudos técnicos. O PRA, quando utilizado com o emprego de três classes, classifica cada nutriente no estado de equilibrado, deficiente e em excesso (Wadt, 2005):

- O nutriente está em equilíbrio quando o índice nutricional, em módulo, for menor ou igual ao IBNm.
- O nutriente é considerado deficiente, quando seu índice nutricional for negativo e, em módulo, maior que o IBNm.
- O nutriente está em excesso quando seu índice nutricional for positivo e, em módulo, maior que o IBNm.

Sistemas informatizados para a avaliação do estado nutricional das plantas

Os métodos de interpretação do estado nutricional são simples e diretos quando baseados nos métodos univariados, porém, mais trabalhosos

e complexos quando baseados nos sistemas DRIS e CND, requerendo a utilização de planilhas eletrônicas ou sistemas mais especializados.

Essa maior complexidade no uso dessas técnicas tem sido um dos fatores que limitam sua adoção pelos técnicos e produtores rurais. Visando tornar essas técnicas mais acessíveis, diversas iniciativas têm sido desenvolvidas, como manuais orientativos para o uso de planilhas eletrônicas (Traspadini et al., 2018), aplicativos de celulares (Sinimbu, 2019) e programas de computador (McCray et al., 2019).

Um exemplo do uso desses programas são os softwares CND desenvolvidos para diversas culturas, como para uva (Rozane et al., 2015), citros (Yamane et al., 2017), atemoia (Rozane et al., 2016); goiaba (Rozane et al., 2013), milho (Meneses et al., 2017) e tomate (Nowaki et al., 2017), disponíveis gratuitamente no site da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp)¹, ou como os sistemas DRIS e CND, disponíveis para soja (Ribeiro, 2018). Não há ainda nenhum software desenvolvido para a cana-de-açúcar.

Esses sistemas simplificam o acesso à tecnologia, são multiplataforma e de fácil acesso (Figura 6.2). Contudo, mesmo sendo de fácil utilização, é importante ressaltar que os referidos sistemas foram desenvolvidos a partir de base de dados de monitoramento nutricional dos respectivos cultivos agrícolas.

A interpretação dos resultados também é direta, sendo normalmente apresentado em gráficos de radar (Figura 6.3A) ou gráfico de barras (Figura 6.3B). No gráfico de radar, teores nutricionais dentro do perímetro circular indicam situação de insuficiência nutricional, enquanto valores fora

do perímetro indicam excesso nutricional. No gráfico de barras, valores em verde (positivos) representam excesso nutricional e valores em vermelho (negativos) indicam insuficiência nutricional.

O sistema desenvolvido para celulares pela Embrapa Meio Norte utiliza os mesmos critérios adotados pelo sistema índices CND, apresentado anteriormente, porém com a inovação de também introduzir os índices DRIS (Sinimbu, 2019) (Figura 6.4).

Alguns sistemas, além de apresentar os gráficos de barras e de radar, também realizam a interpretação dos dados dos índices DRIS ou dos índices CND, a exemplo da planilha da Embrapa Semiárido (Ribeiro, 2018) (Figura 6.5). Neste exemplo em particular, o gráfico de radar apresenta o grau de insuficiência nutricional, não destacando os valores considerados excessivos.

Contudo, um dos maiores gargalos na interpretação do estado nutricional de plantas é a incapacidade dos métodos em fornecer diagnósticos eficientes. O termo “diagnóstico eficiente” refere-se à habilidade do método em indicar diagnósticos verdadeiros do estado nutricional da planta e de modo hábil (Wadt et al., 2016).

Figura 6.2. Demonstração dos campos onde se deve inserir os valores obtidos da amostra para teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Na e Al, a ser realizado no software “CND Milho-doce”. Fonte: Meneses et al. (2017).

¹ Disponível em: <https://www.registro.unesp.br/#/sites/cnd>

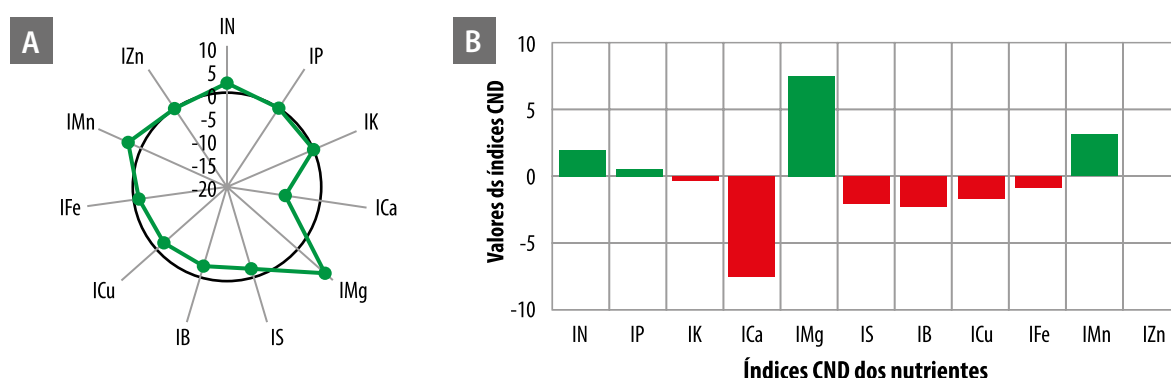


Figura 6.3. Representação gráfica dos índices nutricionais dados pelo método CND, por meio de gráfico de radar (A) e de barras (B), obtido na simulação de diagnóstico realizada no software “CND Milho-doce”.

Fonte: Meneses et al. (2017).

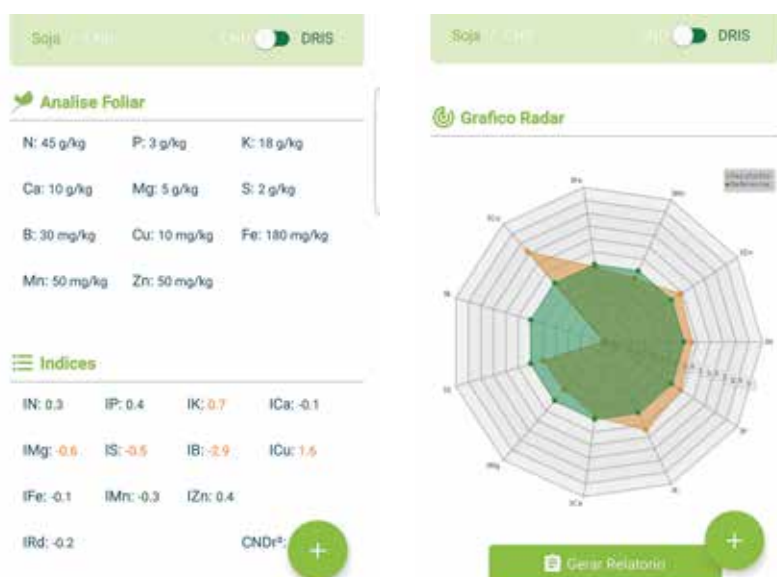


Figura 6.4. Demonstração do uso do aplicativo Soja – Meio-Norte.
 Fonte: Sinimbu (2019).

Teste de eficiência para os métodos de interpretação do estado nutricional

Atualmente, grande parte dos valores de referência publicados não são submetidos a testes de eficiência para estimar o grau de acertos dos diagnósticos nutricionais que deles são originados, apesar de haver comparações empíricas dos novos padrões nutricionais com valores de referência “clássicos” da literatura (Santos et al., 2013; Arain et al., 2017), ou com valores estabelecidos sob as mesmas condições de cultivo, por metodologias similares (Santos et al., 2013).

O desejável é que os valores de referência, bem como os métodos utilizados para defini-los, tenham sua eficiência comprovada com base no verdadeiro estado nutricional da planta (Silva et al., 2021). Para isso, é recomendável que seja utilizado, por exemplo, o método Análise da Previsão da Diagnose – APD (Beverly; Hallmark, 1992), que consiste em identificar a frequência de diagnósticos corretos (verdadeiros) e incorretos (falsos), pelo confronto entre o diagnóstico, dado pelo método de interpretação, com o verdadeiro estado nutricional da cultura (VEN). O VEN é definido com base na resposta produtiva da planta em consequência da aplicação do

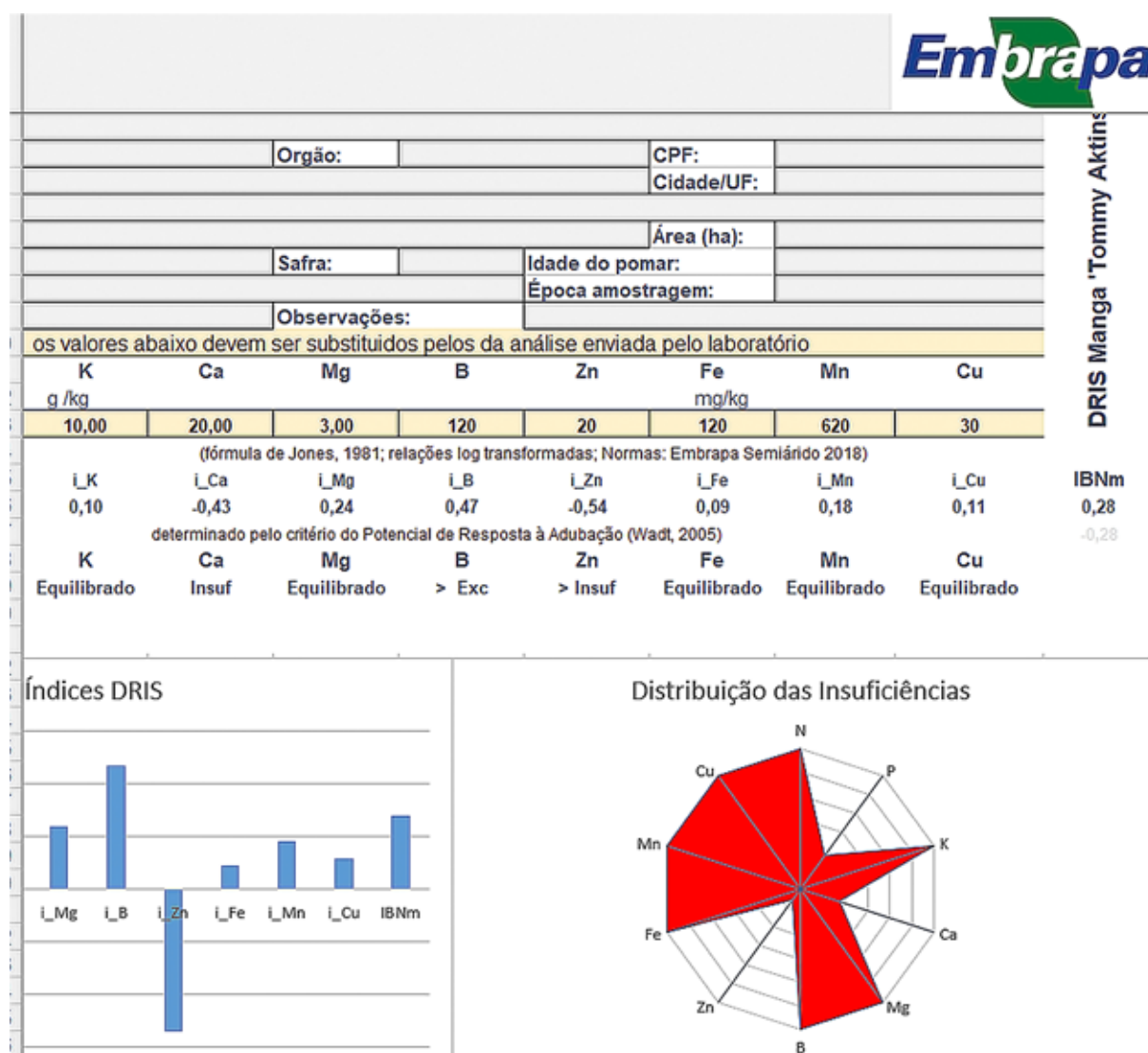


Figura 6.5. Demonstração do uso do aplicativo de planilha eletrônica para a determinação do estado nutricional.

Fonte: Ribeiro (2018).

nutriente em análise, enquanto os demais são mantidos constantes.

O uso do APD tem apresentado resultados relevantes no contexto geral da diagnose nutricional de plantas, pois demonstrou que a acurácia do método varia entre os nutrientes (Beverly, 1993b; Moraes et al., 2019) e as culturas avaliadas (Beverly, 1993b); e que um mesmo método pode apresentar diferentes graus de acurácia em diferentes situações. Por exemplo, o método DRIS foi insatisfatório para a diagnose de N, P e K em soja (Beverly, 1993a), mas mostrou-se adequado para a diagnose de N e P em laranja (Beverly, 1992) e

para N e K, em bananeira (Teixeira et al., 2002). Assim, é indicado que os valores de referência estabelecidos, independentemente do método, da cultura e dos nutrientes, passem por um teste de acurácia antes da sua publicação.

Silva et al. (2020a) utilizaram o método APD para avaliar a qualidade do diagnóstico nutricional de P e testaram diferentes processos para definir o conjunto de dados usado para estabelecer os valores de referência para cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. Os autores verificaram que a análise da acurácia dos diagnósticos nutricionais para o P identificou baixo desempenho de

todos os conjuntos de normas CND porém com melhor desempenho das normas derivadas de populações de referência de maior amplitude quanto à produtividade de colmos.

Outra metodologia desenvolvida para testar a eficiência dos métodos de interpretação com base no verdadeiro estado nutricional da planta é a proposta por Wadt e Lemos (2010). A vantagem de se utilizar este método é que ele apresenta o aumento médio de produtividade esperada e informa a eficiência em relação aos diferentes objetivos, ou seja, a identificação de cultivos deficientes, suficientes ou em níveis tóxicos para nutrientes, fornecendo informações não só para a escolha de determinado procedimento ou método, mas também para sua correção e aprimoramento (Wadt; Lemos, 2010; Silva et al., 2021).

Recentemente, Silva et al. (2020b) utilizaram as medidas de acurácia propostas por Wadt e Lemos (2010) para a modelagem de fórmulas DRIS em cana-de-açúcar, com base no estado nutricional de P. De acordo com os autores, a utilização de fatores de ajuste mais rigorosos e respostas de limite de produtividade mais rígidas pode gerar ganho, ou reduzir a perda de produtividade, ao adotar o método DRIS para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar. Os autores verificaram que os critérios adotados não provocaram ganho na produtividade da cana-de-açúcar e que há necessidade de se realizar mais estudos a fim de ajustar o método DRIS para a avaliação do estado nutricional da cultura e, assim, aumentar os ganhos de produtividade.

Similarmente, Silva et al. (2020b) utilizaram as medidas de acurácia propostas por Wadt e Lemos (2010) para testar e definir o melhor critério de seleção da população de referência, usadas para estimar as normas DRIS, na cana-de-açúcar. Os resultados indicaram medidas de acurácia global abaixo de 50%, demonstrando que, a análise da acurácia dos diagnósticos nutricionais para P apresentou baixo desempenho em todos

os conjuntos de padrões de DRIS estudados. Contudo, o melhor desempenho ocorreu quando as normas DRIS foram obtidas da população de referência que apresentava produtividades acima do valor médio + 1.0 desvio-padrão, nas safras de 2013 e 2014, sendo este um dos meios que pode ser adotado para aumentar a eficiência na diagnose nutricional.

Considerações finais

A cultura da cana-de-açúcar tem se destacado por ter sido uma das principais culturas testadas com os métodos de diagnósticos baseados *Diagnosis and Recommendation Integrated System* (DRIS), tanto em nível mundial, no Havaí, como em nível local, no Brasil. A cana-de-açúcar é uma das poucas culturas a adotar técnicas mais avançadas de avaliação da qualidade dos diagnósticos nutricionais.

Existe uma grande variabilidade de métodos de interpretação do estado nutricional das culturas, e estes vêm sendo desenvolvidos para a cana-de-açúcar em diferentes regiões brasileiras, tanto para métodos univariados, como para os métodos mais complexos, como o DRIS e o *Compositional Nutrient Diagnosis* (CND), mas, é importante que os valores de referência passem por um teste de acurácia antes da sua publicação.

Os métodos convencionais, por sua vez, são importantes para o estudo de condições específicas de cultivo, mas têm a desvantagem de analisar os nutrientes isoladamente (univariados) e não considerarem a relação entre os nutrientes na interpretação. Essa limitação é superada pelos métodos DRIS (bivariado) e CND (multivariado), que adotam o conceito de balanço nutricional. Em conclusão, são necessários mais estudos para testar a eficiência dos métodos de interpretação e suas variáveis. Também é recomendado que seja averiguada a acurácia dos diagnósticos obtidos pelos

valores de referências previamente estabelecidos, independentemente da metodologia empregada.

Referências

- ABDEL-HADY, A. M. A. Evaluation of N, P and K status of wheat using the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and the physiological diagnosis chart. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 55, n. 3, p. 231-250, Summer 2015. DOI: [10.21608/ejss.2015.614](https://doi.org/10.21608/ejss.2015.614).
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] CANA-DE-AÇÚCAR: safra 2021/2020: terceiro levantamento: v. 8, n. 3, p. 1-62, nov. 2021. Brasília, DF: Conab, 2022. 63 p. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/39835_2a34b37eec6ef5d4dac107978bb0103d. Acesso em: 22 fev. 2022.
- ANJOS, J. C. R. dos; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; NOLETO, D. H.; MELO, F. de B.; BRITO, R. R. De. Water storage in a Plinthaqualf cultivated with sugarcane under straw levels. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 6, p. 464-473, June 2017. DOI: [10.1590/S0100-204X2017000600010](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000600010).
- AQUINO, G. S. de; MEDINA, C. de C.; SHAHABA, M.; SANTIAGO, A. D.; CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D. A. O.; CARVALHO, J. B.; MOREIRA, A. Does straw mulch partial-removal from soil interfere in yield and industrial quality sugarcane? A long term study. **Industrial Crops & Products**, v. 111, p. 573-578, 2018. DOI: [10.1016/j.indcrop.2017.11.026](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.026).
- ARAIN, M. Y.; MEMON, K. S.; AKHTAR, M. S.; MEMON, M. Soil and plant nutrient status and spatial variability for sugarcane in lower Sindh (Pakistan). **Pakistan Journal of Botany**, v. 49, n. 2, p. 531-540, 2017. Disponível em: [https://pakbs.org/pjbot/PDFs/49\(2\)/20.pdf](https://pakbs.org/pjbot/PDFs/49(2)/20.pdf). Acesso em: 23 fev. 2022.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS AGRÍCOLAS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: Anda, 2018.
- BAILEY, J. S.; BEATTIE, J. A. M.; KILPATRICK, D. J. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: I. Model establishment. **Plant and Soil**, v. 197, p. 127-135, 1997. DOI: [10.1023/A:1004236521744](https://doi.org/10.1023/A:1004236521744).
- BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 3, p. 448-456, May/June 1996. DOI: [10.2134/agronj1996.00021962008800030015x](https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800030015x).
- BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. dos. Efeito de procedimentos de cálculo e da população de referência nos índices do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 339-344, 1990.
- BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg, [s.n.], 1973. 132 p. (Soil Science. Bulletin, 1)
- BEAUFILS, E. R.; SUMNER, M. E. Application of the DRIS approach for calibrating soil and plant their yield sugarcane. **Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association**, v. 50, p. 118-124, June 1976. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.381.7944&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- BEVERLY, R. B. DRIS diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. **Journal of plant nutrition**, v. 16, n. 8, p. 1431-1447, 1993a. DOI: [10.1080/01904169309364625](https://doi.org/10.1080/01904169309364625).
- BEVERLY, R. B. Prescient diagnostic analysis shows sufficiency range approach superior to DRIS for citrus. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 23, n. 17-20, p. 2641-2649, 1992. DOI: [10.1080/00103629209368762](https://doi.org/10.1080/00103629209368762).
- BEVERLY, R. B. Re-evaluation reveals weaknesses of DRIS and sufficiency range diagnoses for wheat, corn and alfafa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 5-6, p. 487-501, 1993b. DOI: [10.1080/00103629309368816](https://doi.org/10.1080/00103629309368816).
- BEVERLY, R. B.; HALLMALK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 17-20, p. 2633-2640, 1992. DOI: [10.1080/00103629209368761](https://doi.org/10.1080/00103629209368761).
- BORDONAL, R. de O.; CARVALHO, J. L. N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E. B. de; OLIVEIRA, B. G. de; LA SCALA JUNIOR, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 1-23, Apr. 2018a. DOI: [10.1007/s13593-018-0490-x](https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x).
- BORDONAL, R. de O.; MENANDRO, L. M. S.; BARBOSA, L. C.; LAL, R.; MILORI, D. M. B. P.; KOLLN, O. T.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Sugarcane yield and soil carbon response to straw removal in south-central Brazil. **Geoderma**, v. 328, p. 79-90, Oct. 2018b. DOI: [10.1016/j.geoderma.2018.05.003](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.003).
- CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W. de; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. de S.; SANTIAGO, A. D.; ARISTIDES, E. V. dos S. Produção de biomassa, de açúcar e de proteína em função de variedades de cana e de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 809-817, abr. 2012. DOI: [10.5433/1679-0359.2012v33n2p809](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p809).
- CALHEIROS, L. C.; FREIRE, F. J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E. C.; MOURA, A. B.; COSTA, J. V.; CRUZ, F. J. R.; SANTOS, Á. S.; REZENDE, J. S. Assessment of nutrient balance in sugarcane using DRIS and CND methods.

Journal of Agricultural Science, v. 10, n. 9, p. 164-179, 2018a. DOI: [10.5539/jas.v10n9p164](https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p164).

CALHEIROS, L. C. da; FREIRE, F. J.; MOURA FILHO, G.; OLIVEIRA, E. C. A. de; MOURA, A. B.; COSTA, J. V. T. da; CRUZ, F. J. R.; SANTOS, A. S. Different criteria for determining DRIS standards influencing the nutritional diagnosis and potential fertilization response of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 6, p. 995-1007, 2018b. DOI: [10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1147](https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.06.PNE1147).

CARDOZO, N. P.; BORDONAL, R. de O.; LA SCALA JÚNIOR, N. Sustainable intensification of sugarcane production under irrigation systems, considering climate interactions and agricultural efficiency. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 861-871, Dec. 2018. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.09.004](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.004).

CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; BORDONAL, R. de O.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **Global Chang. Biology Bioenergy** v. 9, n. 7, p. 1181-1195, July 2017. DOI: [10.1111/gcbb.12410](https://doi.org/10.1111/gcbb.12410).

ELWALI, A. M. O.; GASCHO, G. J. Soil testing, foliar analysis, and DRIS as guide for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 3, p. 466-470, May/June 1984. DOI: [10.2134/agronj1984.00021962007600030024x](https://doi.org/10.2134/agronj1984.00021962007600030024x).

FACHINELLI, N. P.; PEREIRA JÚNIOR, A. O. Impacts of sugarcane ethanol production in the Paranaíba basin water resources. **Biomass and Bioenergy**, v. 83, p. 8-16, Dec. 2015. DOI: [10.1016/j.biombioe.2015.08.015](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.015).

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 88-96, jan. 2013a. DOI: [10.1590/S0100-204X2013000100012](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100012).

FORTES, C.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 313-320, Oct. 2013b. DOI: [10.1590/S0103-90162013000500005](https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500005).

GALÍNDEZ, A. A. S.; CRUZ, J. G.; ZÉREGA, L.; RODRÍGUEZ, O. A. R.; OLIVEIRA, S. A. de; PÉREZ, V. de J. R. Normas preliminares DRIS desarrolladas para caña de azúcar a partir de un bajo número de muestras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1700-1706, dez. 2009. DOI: [10.1590/S0100-204X2009001200020](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200020).

GOPALASUNDARAM, P.; BHASKARAN, A.; RAKKIYAPPAN, P. Integrated nutrient management in sugarcane. **Sugar Tech**, v. 14, n. 1, p. 3-20, Mar. 2012. DOI: [10.1007/s12355-011-0097-x](https://doi.org/10.1007/s12355-011-0097-x).

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CLEMENTE, J. M.; SANTOS, L. P. D. dos; CARVALHO, A. M. X.; XAVIER, F. O. Foliar diagnosis indexes for corn by the methods diagnosis

and recommendation integrated system (DRIS) and nutritional composition (CND). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 1, p. 11-19, 2017. DOI: [10.1080/00103624.2016.1253714](https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1253714).

GUIMARÃES, F. C. N. **Normas DRIS e diagnóstico nutricional de cana-soca na região sul de Goiás**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

HALLMARK, W. B.; WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E.; MOOY, C. J. de; PESEK, J.; SHAO, K. P. Separating limiting from non-limiting nutrients. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 9-16, p. 1381-1390, 1987.

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. 2, n. 8, p. 785-794, 1981. DOI: [10.1080/00103628109367194](https://doi.org/10.1080/00103628109367194).

KUMAR, A.; BABAR, L.; MOHAN, N.; BANSAL, S. K. Effect of potassium application on yield, nutrient uptake and quality of sugarcane and soil health. **Indian Journal of Fertilizers**, v. 15, n. 7, p. 782-786, July 2019.

KURIHARA, C. H.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. de; STAUT, L. A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 412-419, June 2013. DOI: [10.1590/S0034-737X2013000300015](https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300015).

LEAL, M. R. L. V.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, J. E. A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C. O. F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p. 11-19, June 2013. DOI: [10.1016/j.biombioe.2013.03.007](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.03.007).

LIRA, R. M. de.; SILVA, Ê. F. de F. e; SILVA, G. F. da; SOUZA, D. H. de; PEDROSA, E. M.; GORDIN, L. C. Content, extraction and export of nutrients in sugarcane under salinity and leaching fraction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 432-438, June 2019. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p432-438](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p432-438).

LIRA, R. M. de; SILVA, Ê. F. de F. e; SIMÕES NETO, D. E.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; LIMA, B. L. de C.; SILVA, J. S. da. Growth and yield of sugarcane irrigated with brackish water and leaching fractions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 170-175, mar. 2018. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p170-175](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p170-175).

LISBOA, I. P.; DAMIAN, J. M.; CHERUBIN, M. R.; BARROS, P. P. S.; FIORIO, P. R.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Prediction of sugarcane yield based on NDVI and concentration of leaf-tissue nutrients in fields managed with straw removal. **Agronomia**, v. 8, n. 9, p. 196, 2018. DOI: [10.3390/agronomy8090196](https://doi.org/10.3390/agronomy8090196).

- MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. de. Nível crítico pelo critério da distribuição normal reduzida: uma nova proposta para interpretação de análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 235-238, maio 2001. DOI: [10.1590/S1415-43662001000200010](https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200010).
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- MCCRAY, J. M.; NEWMAN, P. R.; RICE, R. W.; EZENWA, I. V. **Sugarcane leaf tissue sample preparation for diagnostic analysis**. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2018. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/SC/SC07600.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- MCCRAY, J. M.; RICE, R. W.; EZENWA, I. V.; LANG, T. A.; BAUCUM, L. **Sugarcane plant nutrient diagnosis**. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2019. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/SC/SC07500.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- MEENA, B. S.; RAM, B.; NAROLIA, R. D. S.; SINGH, P. Yield, quality, nutrient uptake and economics of spring sugarcane (*Saccharum officinarum*) as influenced by balanced fertilization in clay loam soils of Rajasthan. **Indian Journal of Agronomy**, v. 60, n. 3, p. 457-463, Sept. 2015.
- MENESES, N. B.; CECÍLIO FILHO, A. B.; ROZANE, D. E.; NATALE, W.; NOWAKI, R. H. D.; YAMANE, D. R.; PARENT, L. E. **CND Milho-doce (*Zea mays* conv. *Saccharata* var. *rugose*)**. Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho". Registro, 2017. Disponível em: https://web.registro.unesp.br/sites/cnd_milho_doce. Acesso em: 23 fev. 2022.
- MEYER, J. H. Advances in the interpretation of foliar analysis of sugarcane in the South African Sugar Industry. **Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association**. v. 49, p. 129-136, June/July 1975. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.381.6469&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- MISHRA, A. K.; SHUKLA, S. K.; YADAV, D. V.; AWASTHI, S. K. Iron, manganese and sulphur uptake and nutrients availability in sugarcane based system in subtropical India. **Sugar Tech**, v. 16, n. 3, p. 300-310, Sept. 2014. DOI: [10.1007/s12355-013-0269-y](https://doi.org/10.1007/s12355-013-0269-y).
- MODA, L. R.; PRADO, R. de M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S.; SILVA, E. C. da; FLORES, R. A. Effect of sources and rates of phosphorus associated with filter cake on sugarcane nutrition and yield. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 6, p. 477-485, 2015.
- MORAIS, T. C. B. de; PRADO, R. de M.; TRASPADINI, E. I. F.; WADT, P. G. S.; PAULA, R. C. de; ROCHA, A. M. S. Efficiency of the CL, DRIS and CND methods in assessing the nutritional status of *Eucalyptus* spp. rooted cuttings. **Forests**, v. 10, n. 9, p. 1-18, Sept. 2019. DOI: [10.3390/f10090786](https://doi.org/10.3390/f10090786).
- MOSTASHARI, M.; KHOSRAVINEJAD, A.; GOLMOHAMMADI, M. Comparative study of DOP and CND methods for leaf nutritional diagnosis of *Vitis Vinifera* in Iran. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 5, p. 576-584, 2018. DOI: [10.1080/00103624.2018.1432633](https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1432633).
- MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W. de; MOURA, A. B.; SANTOS, A. C. I. dos; OLIVEIRA FILHO, M. dos S.; SILVA, L. C. da. Diagnose nutricional de variedades de cana-de-açúcar em argissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1102-1109, 2014, Nov. 2014. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1102-1109](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1102-1109).
- NOWAKI, R. H. D.; CECÍLIO FILHO, A. B.; ROZANE, D. E.; NATALE, W.; MENESES, N. B.; YAMANE, D. R.; PARENT, L. E. **CND-Tomate para indústria (*Solanum lycopersicum*)**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Registro, 2017. Disponível em: https://web.registro.unesp.br/sites/cnd_tomate. Acesso em: 22 fev. 2022.
- OLIVEIRA, E. C. A. de; GAVA, G. J. de C.; TRIVELIN, P. C. O.; OTTO, R.; FRANCO, H. C. J. Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 5, p. 712-723, Oct. 2013. DOI: [10.1002/jpln.201200133](https://doi.org/10.1002/jpln.201200133).
- OLIVEIRA, M. G. de.; PARTELLI, F. L.; CAVALCANTI A. C.; GONTIJO, I.; VIEIRA, H. D. Soil patterns and foliar standards for two cocoa clones in the States of Espírito Santo and Bahia, Brazil. **Ciência Rural**, v. 49, n. 10, p. 10, 2019. DOI: [10.1590/0103-8478cr20180686](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180686).
- OLIVEIRA, R. I. de; MEDEIROS, M. R. F. A. de; FREIRE, C. S.; FREIRE, F. J.; SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, E. C. A. de. Nutrient partitioning and nutritional requirement in sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 69-75, 2016.
- ORLANDO FILHO, J. (coord.). **Nutricao e adubacao da cana-de-acucar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983. 368 p. (Coleção Planalsucar, 2).
- PAREDES JUNIOR, F. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Atributos microbiológicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 151-164, 2015.
- 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. DOI: [10.21273/JASHS.117.2.239](https://doi.org/10.21273/JASHS.117.2.239).
- PÍPERAS, G. V.; CRESTE, J. E.; ECHER, F. R. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 818-825, nov./dez. 2009.
- PRADO, R. de M. CAIONE, G. Plant analysis. In: ISSAKA, R. N. (ed.). **Soil Fertility**. Rijeka: InTech, 2012. p. 115-134. DOI: [10.5772/53388](https://doi.org/10.5772/53388).
- PRADO, R. de M. **Mineral nutrition of tropical plants**. Switzerland: Springer Nature, 2021. 339 p.

- RAIJ, B. van.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (IAC. Boletim técnico, 100).
- REIS JÚNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 367-372, Jun. 2002a. DOI: [10.1590/S0100-06832002000200010](https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200010).
- REIS JÚNIOR, R. dos A.; MONNERAT, P. H. Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norms established in Brazil, South Africa, and the United States. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 12, p. 2831-2851, 2002b. DOI: [10.1081/PLN-120015542](https://doi.org/10.1081/PLN-120015542).
- RIBEIRO, M. Planilha eletrônica determina equilíbrio nutricional em mangueiras 'Tommy Atkins'. **Notícias**, 26 dez. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/40305004/planilha-eletronica-determina-equilibrio-nutricional-em-mangueiras-tommy-atkins>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- RODRÍGUEZ, O.; RODRÍGUEZ, V. Desarrollo, determinación e interpretación de normas DRIS para el diagnóstico nutricional en plantas. Una revisión. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 17, n. 6, p. 449-470, 2000.
- ROZANE, D. E.; BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B.; NATALE, W.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E.; SANTOS, E. M. H. dos. **CND-UVA (*Vitis vinifera* L.)**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Registro, 2015. Disponível em: https://web.registro.unesp.br/sites/cnd_uva. Acesso em: 22 fev. 2022.
- ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E.; SANTOS, E. M. H. dos. **CND-Goiaba**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Registro, 2013. Disponível em: https://web.registro.unesp.br/sites/cnd_goiaba. Acesso em: 22 fev. 2022.
- ROZANE, D. E.; SANTOS, E. M. H. dos; NATALE, W.; GOCHO, S.; LEITÃO, L. C. C.; PARENT, L. E. **CND-Atemoia (*Annona cherimola* Mill x *Annona squamosa* L.)**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Registro, 2016. Disponível em: https://web.registro.unesp.br/sites/cnd_atemoia. Acesso em: 22 fev. 2022.
- RUÍZ-BELLO A.; CAJUSTE, L. J. Controlling fertilizer applications through plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 15-18, p. 2793-2802, 2002. DOI: [10.1081/CSS-120014481](https://doi.org/10.1081/CSS-120014481).
- SANTANA, A. C. de A.; OLIVEIRA, E. C. A. de; SILVA, V. S. G. da; SANTOS, R. L. dos; SILVA, M. A. da; FREIRE, F. J. Critical nitrogen dilution curves and productivity assessments for plant cane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 244-251, 2020, Apr. 2020. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v24n4p244-251](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n4p244-251).
- SANTOS, E. F. dos; DONHA, R. M. A.; ARAÚJO, C. M. M. de; LAVRES JUNIOR, J.; CAMACHO, M. A. Normal nutrient ranges for sugarcane by the methods ChM, DRIS and CND and critical level by reduced normal distribution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1651-1658, Dec. 2013. DOI: [10.1590/S0100-06832013000600021](https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600021).
- SANYAL, S. K.; MAJUMDAR, K.; SINGH, V. K. Nutrient management in Indian agriculture with special reference to nutrient mining - a relook. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 62, n. 4, p. 307-325, 2014.
- SATIRO, L. S.; CHERUBIN, M. R.; SAFANELLI, J. L.; LISBOA, I. P.; ROCHA JÚNIOR, P. R. da; CERRI, C. E. E.; CERRI, C. C. Sugarcane straw removal effects on Ultisols and Oxisols in south-central Brazil. **Geoderma Regional**, v. 11, p. 86-95, Dec. 2017. DOI: [10.1016/j.geodrs.2017.10.005](https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.10.005).
- SAVITA, S.; KRISHNAPPA, R.; NGANGOM, B.; DEVI, M. T.; MISHRA, G.; RAWAT, D.; SRIVASTAVA, P. C. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) approach on nutritional diagnosis in fruit crops- a review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 8, n. 4, p. 2337-2345, 2016. DOI: [10.31018/jans.v8i4.1134](https://doi.org/10.31018/jans.v8i4.1134).
- SILVA, G. P. da; CHIAIA, H. L. J. Limitation due to nutritional deficiency and excess in sugarcane using the integral Diagnosis and Recommendation System (DRIS) and Nutritional Composition Diagnosis (CND). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 52, n. 12, p. 1458-1467, 2021. DOI: [10.1080/00103624.2021.1885690](https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1885690).
- SILVA, G. P. da; PRADO, R. de M.; WADT, P. G. S.; MODA, L. R.; CAIONE, G. Accuracy of nutritional diagnostics for phosphorus considering five standards by the method of diagnosing nutritional composition in sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 10, p. 1485-1497, 2020a. DOI: [10.1080/01904167.2020.1730902](https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1730902).
- SILVA, G. P. da; PRADO, R. de M.; WADT, P. G. S.; SILVA, F. C. da; VAZ, G. J.; MODA, L. R.; CAIONE, G. Accuracy measures for phosphorus in assessing the nutritional status of sugarcane using the comprehensive integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS). **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 9, p. 1287-1299, 2020b. DOI: [10.1080/01904167.2020.1849299](https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849299).
- SILVA, G. P. da; PRADO, R. de M.; WADT, P. G. S.; SILVA, F. C. da; VAZ, G. J.; MODA, L. R.; CAIONE, G. Modeling formulas of the comprehensive Diagnosis and Recommendation System (DRIS) for phosphorus in sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 9, p. 1316-1329, 2021. DOI: [10.1080/01904167.2020.1862192](https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1862192).
- SILVA, M. de A.; CAPUTO M. M. Ripening and the use of ripeners for better sugarcane management. In: MARIN, F. R. (ed.). **Crop management: cases and tools for higher yield and sustainability**. Rijeka: InTech, 2012. p. 3-24. DOI: [10.5772/28958](https://doi.org/10.5772/28958).
- SILVA, S. R. V. da. **Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na cana-de-açúcar**. 2018. 13 f.

Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife

SILVA, V. S. G. da; OLIVEIRA, M. W. de; OLIVEIRA, D. C. de; OLIVEIRA, T. B. A.; PEREIRA, M. G.; NOGUEIRA, C. H. de C. Nutritional diagnosis of sugarcane varieties in a Yellow Oxisol during three agricultural seasons. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p. 50-57, Jan. 2017. DOI: [10.5897/AJAR2016.1186](https://doi.org/10.5897/AJAR2016.1186).

SINIMBU, F. Aplicativo calcula em segundos as necessidades nutricionais da lavoura de soja. **Notícias**, 21 maio 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/43412777/aplicativo-calcula-em-segundos-as-necessidades-nutricionais-da-lavoura-de-soja>. Acesso em: 22 fev. 2022.

SIQUEIRA, G. F. de. **Aplicação de boro e maturadores na pré-colheita da cana-de-açúcar em início e final de safra**. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

TEIXEIRA, L. A. J.; SANTOS, W. R. dos; BATAGLIA, O. C. Diagnose nutricional para nitrogênio e potássio em bananeira por meio do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e de níveis críticos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 2, p. 530-535, Ago. 2002. DOI: [10.1590/S0100-29452002000200050](https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000200050).

TRASPADINI, E. I. F. **Qualidade dos prognósticos do estado nutricional de boro na cultura da soja**. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

TRASPADINI, E. I. F.; PRADO, R. M. de; VAZ, G.; SILVA, F. C. da; MANCINI, A. L.; SILVA, G. P. da; SANTOS, E. H. dos; WADT, P. G. S. **Guia prático para aplicação do método da diagnose da composição nutricional (CND): exemplo de uso na cultura da cana-de-açúcar**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2018. 30 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 160). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1103108>. Acesso em: 21 fev. 2022.

VALIM, W. C.; PANACHUKI, E.; PAVEI, D. S.; ALVES SOBRINHO, T.; ALMEIDA, W. S. Effect of sugarcane waste in the control of interrill erosion. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 1155-1164, 2016. DOI: [10.5433/1679-0359.2016v37n3p11](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n3p11).

VASCONCELOS, R. de L.; PRADO, R. de M.; CAMPOS, C. N. S.; CAIONE, G.; ALMEIDA, H. J. de; MODA, L. R.; MELLO, F. T.; DELA MARTA, C. C. Sources of phosphorus with sugar cane filter cake on the nutritional status and productivity of sugar cane (*Saccharum officinarum* L) cultivated in red-

yellow latosoil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 11, p. 1467-1474, 2014.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 227-234, Apr. 2005. DOI: [10.1590/S0100-06832005000200008](https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200008).

WADT, P. G. S.; ALVAREZ V, V. H.; NOVAIS, R. F.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. O método da chance matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 773-778, 1998. DOI: [10.1590/S0100-06831998000400023](https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400023).

WADT, P. G. S.; ANGHINONI, I.; GUINDANI, R. H. P.; LIMA, A. S. T. de; PUGA, A. P.; SILVA, G. S. da; PRADO, R. de M. Padrões nutricionais para lavouras arrozeiras irrigadas por inundação pelos métodos da CND e Chance Matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 145-156, jan./fev. 2013.

WADT, P. G. S.; LEMOS, C. de O. Medidas de acurácia para diagnósticos nutricionais e seu impacto no manejo das adubações. In: PRADO, R. de M.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P. (ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: Unesp: Genplant, 2010. 10, p. 1-14.

WADT, P. G. S.; TRASPADINI, E. I. F.; MARTINS, R. A.; MELLO, F. de B.; OLIVEIRA, I. J. de; RODRIGUES, J. E. L. F.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. Medidas de acurácia na qualificação dos diagnósticos nutricionais: teoria e prática. In: PRADO, R. de M.; CECÍLIO FILHO, A. B. (org.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/ Capes, 2016. p. 373- 391.

YAMANE, D. R.; ROZANE, D. E.; NATALE, W.; CECÍLIO FILHO, A. B.; NOWAKI, R. H. D.; MENESES, N. B.; PARENT, L. E. **CND-C-ítrus (*Citrus spp.*)**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Registro, 2017. Disponível em: https://web.registro.unesp.br/sites/cnd_citros. Acesso em: 22 fev. 2022.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HAAG, H. P.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação para diferentes solos e épocas de amostragem foliar em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 37, n. 1, p. 241-289, 1980. DOI: [10.1590/S0071-12761980000100016](https://doi.org/10.1590/S0071-12761980000100016).

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) aplicado a cana-planta com e sem irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 1., 1979, Maceió. **Anais...** Maceió: Stab, 1979. v. 2, p. 353-356.