

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ACURÁCIA DA DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO
NUTRICIONAL (CND) PARA DIAGNÓSTICO DE FÓSFORO
EM CANA-DE-AÇÚCAR**

**Gilmara Pereira da Silva
Engenheira Agrônoma**

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ACURÁCIA DA DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO
NUTRICIONAL (CND) PARA DIAGNÓSTICO DE FÓSFORO
EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Gilmara Pereira da Silva

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Coorientador: Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Ciência do Solo).**

2016

S586a Silva, Gilmara Pereira da
Acurácia da diagnose da composição nutricional (CND) para diagnóstico de fósforo em cana-de-açúcar / Gilmara Pereira da Silva.
-- Jaboticabal, 2016
iii, 62 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016

Orientador: Renato de Mello Prado

Banca examinadora: Cássio Hamilton Abreu Júnior, Anelisa de Aquino Vidal Lacerda Soares, Wanderley José de Melo, Manoel Evaristo Ferreira

Bibliografia

1. Diagnose foliar. 2. Fósforo. 3. *Saccharum* spp. 4. Validação. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.85:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ACURÁCIA DA DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA
DIAGNÓSTICO DE FÓSFORO EM CANA-DE-AÇÚCAR

AUTORA: GILMARA PEREIRA DA SILVA

ORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO

COORIENTADOR: PAULO GUILHERME SALVADOR WADT

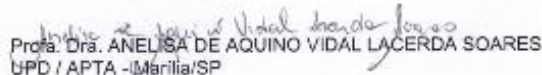
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



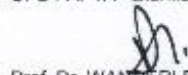
Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



PROF. DR. CASSIO HAMILTON ABREU JUNIOR
Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas / USP - Piracicaba/SP



Prof. Dra. ANELISA DE AQUINO VIDAL LACERDA SOARES
UPD / APTA - Marília/SP



Prof. Dr. WANDERLEY JOSÉ DE MELO
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 17 de outubro de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Gilmara Pereira da Silva, nascida em Pindobaçu – BA, Brasil, em 24 de setembro de 1988, filha de Maria Barbosa dos Santos Filha e Mario Pereira da Silva. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST (2013). Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2014). Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, com período sanduíche pela Universidad Publica de Navarra – Espanha (2016). Membro do Grupo de estudos em Nutrição de Plantas da Unesp (GENPLANT). Colabora como revisor de revistas científicas. Atua na área de Ciência do Solo, com ênfase em Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

Se temos de esperar, que seja para colher a semente boa que lançamos hoje no solo da vida. Se for para semear, então que seja para produzir milhões de sorrisos, de solidariedade e amizade.

Cora Coralina

Aos meus queridos pais Maria Barbosa dos Santos Filha e Mario Pereira da Silva e a minha avó Arlinda Pereira de Jesus (in-memoria), pelos ensinamentos, dedicação, apoio e, principalmente, pelo exemplo de vida.

Ofereço

Ao meu noivo Hermenegildo Lucas Justino Chiaia por todo o carinho, compreensão, paciência, amor, por palavras de incentivo. Deixo aqui declarado meu eterno amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por estar sempre me guiando em minhas escolhas e por torná-las realidade.

À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do solo).

À Universidad Publica de Navarra, pela oportunidade concedida para a realização do doutorado sanduíche.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida.

A minha família, em especial aos meus pais, irmãs: Elizângela Santos e Tainara Pereira da Silva, e a minha querida avó (in memoriam), por todo o apoio, incentivo e compreensão para que meus objetivos fossem alcançados.

Ao meu noivo Hermenegildo Lucas Justino Chiaia, por fazer parte de minha vida e por me mostrar o verdadeiro amor.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato de Mello Prado, por acreditar e confiar em meu potencial, pela orientação, ensinamentos durante esse período e pela grande amizade.

Ao meu coorientador, Dr. Paulo Guilherme Salvador Wadt, por todos os ensinamentos, críticas construtivas e por me acolher no período de redação da tese, em Porto Velho-RO.

Ao meu orientador no exterior, Prof. Dr. Pedro Aparício Tejo, e coorientadora Berta Lasa, pelos ensinamentos, orientações, pela amizade e ajuda durante o período sanduíche na Espanha.

Ao meu orientador da graduação, Prof. Dr. Emídio Cantidio Almeida de Oliveira, pelos ensinamentos, conselhos, confiança e pela grande amizade.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial aos que conviveram com maior frequência durante este período: Maria Inês, Ademir (Cherinho), Djair, Cláudia, Gíbson, Célia e Mauro.

A todos os professores dos Programas de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo e Produção Vegetal) da UNESP de Jaboticabal.

A todos os colegas do grupo GENPLANT, pela amizade e ajuda no desenvolvimento da pesquisa. Em especial aos membros: Sylvia Letícia, Gabriel Barbosa, Cid Campos, Raimundo Oliveira, Leandro Moda e Gustavo Caione.

Aos meus amigos Gerffesson Thiago Mota de Almeida Silva, Sylvia Letícia Oliveira Silva e Luma Castro, pela amizade, pelos maravilhosos momentos de convívio, aprendizado e incentivo.

Aos membros da banca examinadora de defesa de tese, Prof. Dr. Cássio Hamilton Abreu Júnior, Dra. Anelisa de Aquino Vidal Lacerda Soares, Prof. Dr. Wanderley José de Melo e Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira, pelas importantes contribuições ao trabalho.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais	1
Introdução	1
Objetivo geral.....	4
Objetivos específicos	4
Revisão de Literatura	4
Interpretação da análise foliar.....	4
Diagnose da Composição Nutricional em cana-de-açúcar	6
População de referência	8
Medidas de acurácia do diagnóstico nutricional	9
Acurácia do critério do Potencial de Resposta da Planta à Adubação	11
Referências	13
CAPÍTULO 2: População de referência para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar, em relação ao fósforo, pelo método CND	18
Resumo.....	18
Introdução	19
Material e Métodos.....	21
Normas CND	23
Índices CND e IBNm.....	24
Interpretação do estado nutricional.....	24
Grau de concordância entre diagnósticos nutricionais para o fósforo	25
Acurácia dos diagnósticos nutricionais para o fósforo	25
Análise estatística.....	27
Resultados e Discussão.....	28
Conclusões	38
Referências.....	39
CAPÍTULO 3: Acurácia do critério de Potencial de Resposta da Planta à Adubação dos diagnósticos nutricionais em cana-de-açúcar.....	43
Resumo.....	43
Introdução	44
Material e Métodos.....	46
Resultados e Discussão.....	52
Conclusões	59
Referências.....	60

ACURÁCIA DA DIAGNOSE DA COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL (CND) PARA DIAGNÓSTICO DE FÓSFORO EM CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – Apesar da utilização do método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) para a interpretação do estado nutricional de diversas culturas, especialmente da cana-de-açúcar, muitos fatores ainda precisam ser mais bem estudados, como os critérios de escolha das populações de referência e estudos para validar os critérios de interpretação dos índices nutricionais a partir da acurácia dos diagnósticos nutricionais. Objetivou-se avaliar medidas de acurácia sob diferentes populações de referência e fatores de ajuste na interpretação de índices nutricionais do método CND para diagnóstico nutricional do fósforo em cana-de-açúcar. Para os estudos, utilizaram-se dados coletados em cinco áreas experimentais cultivadas com cana-de-açúcar do primeiro ciclo (safra 2013), localizadas em três municípios do Estado de São Paulo, Brasil. As variedades de cana-de-açúcar cultivadas foram a CTC 15 e RB 855453. Para gerar o banco de dados, foi considerado o fatorial $3 \times 4 \times 2 \times 2$, sendo três fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfato natural de Araxá, fosfato natural reativo Bayóvar ou fosfato natural reativo Gafsa), quatro doses de P_2O_5 (0; 90; 180 e 360 kg ha^{-1} de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%); na ausência e na presença de torta de filtro decomposta na dose de $7,5 \text{ t ha}^{-1}$, em base seca (equivalente a 15 t ha^{-1} , em base úmida) e duas épocas de amostragem foliar (4 e 8 meses após a brotação), em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento. Obteve-se o banco de dados a partir da produtividade de colmos e dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn para a cana-de-açúcar, perfazendo um total de 720 amostras. No estudo I, foi determinado o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm), o índice CND e a produtividade; o grau de concordância entre as normas e a acurácia dos diagnósticos nutricionais para P. Com base nas populações de referência avaliadas, não foi possível definir o melhor conjunto de normas a partir dos critérios do grau de concordância ou pela análise da dispersão entre a produtividade e os índices IBNm e CND. A análise da acurácia dos diagnósticos nutricionais para o fósforo 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. No estudo II, a interpretação dos índices CND foi realizada pelo critério do Potencial de Resposta da Planta à Adubação (PRA), com a introdução da variável f , e foi determinada a acurácia, considerando como diagnóstico insuficiente quando a adição de P resultou em aumento acima de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35 e 40% de produtividade entre a situação-controle e a situação-resposta. O uso do fator $f=0$ no ajuste do IBNm permite a obtenção dos maiores incrementos ou menores perdas de produtividade de colmo da cana-de-açúcar, que corresponde ao abandono da interpretação dos índices nutricionais pelo critério do PRA. O método CND é eficiente na avaliação do estado nutricional de plantas, quando se utilizam como referência aumentos de produtividade de colmo acima de 35 e 40% entre a situação-controle e a situação-resposta com a aplicação de P na forma de superfosfato triplo em cana-de-açúcar.

Palavras-chave: diagnose foliar, fósforo, IBNm, normas, *Saccharum* spp, validação

ACCURACY OF COMPOSITIONAL NUTRIENT DIAGNOSIS (CND) FOR DIAGNOSIS OF PHOSPHORUS IN SUGARCANE

ABSTRACT – Despite use of the Compositional Nutrient Diagnosis (CND) method for interpretation of the nutritional status of various crops, especially sugarcane, many factors still need to be better studied including the criteria for selection of reference populations, as well as studies to validate the interpretation criteria of nutritional indices from accuracy of the nutritional diagnosis. This study sought to evaluate accuracy measures in different reference populations and adjustment factors in the interpretation of nutritional indices of the CND method for nutritional diagnosis of phosphorus in sugarcane. For the studies, data was used as collected from five experimental areas cultivated with sugarcane in the first cycle (safra 2013), located in three municipalities in the state of São Paulo, Brazil. The sugarcane varieties cultivated were CTC 15 and RB 855453. To generate the database, the 3x4x2x2 factorial was considered with three phosphorus sources (triple superphosphate, Araxá rock phosphate, Bayóvar reactive phosphate rock or Gafsa reactive phosphate rock), four doses of P_2O_5 (0, 90, 180 and 360 kg ha⁻¹ P_2O_5 soluble in 2% citric acid), in the absence and presence of decomposed filter cake at a dose of 7.5 t ha⁻¹ dry basis (equivalent to 15 t ha⁻¹ wet basis) and two leaf sampling periods (4 and 8 months after budding), in a randomized block experimental design with three replicates per treatment. A database was obtained from the values of stalk yield and foliar N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn for the sugarcane, for a total 720 samples. In study I the variables determined were the mean Nutritional Balance Index (NBIm), the CND index and productivity, the degree of agreement between the standards and the nutritional diagnosis accuracy for P. Based on the assessed reference populations, it was not possible to define the best set of standards from the criteria of the degree of agreement or by dispersion analysis of productivity and the NBIm and CND indices. The accuracy analysis of the nutritional diagnosis for phosphorus identified underperforming of all CND standard datasets, but with better performance of standards derived from reference populations of greater amplitude with regards to sugarcane yield. In Study II the interpretation of CND indices was performed using the Fertilization Response Potential (FRP), with introduction of the variable f and determination of accuracy, considering the diagnosis insufficient when the addition of P resulted in increases exceeding 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40% of productivity between the control and response situations. Use of the factor f=0 in adjust of the NBIm allowed for acquiring greater increases or smaller losses of sugarcane stalk productivity, which corresponds to abandonment of interpretation of the nutritional indices at the discretion of the FRP. The CND method is effective in assessing the nutritional status of plants when using as a reference the productivity increases of stalks above 35 and 40% between the control and response situations to the application of P to sugarcane in the form of triple superphosphate.

Keywords: leaf analysis, phosphorus, NBIm, standards, *Saccharum* spp, validation

LISTA DE ABREVIATURAS

IBNm - Índice de Balanço Nutricional médio

IBN – Índice de Balanço Nutricional

PRA – Potencial de Resposta da Planta à Adubação

CND – Diagnose da Composição Nutricional

DRIS – Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação

CDA - Análise de Dados Composicionais

ChM – Chance Matemática

PDAM - Prescient Diagnostic Analysis Methodology

P – Fósforo

K – Potássio

R - Complemento da matéria seca para 1.000 g; $1.000 = 100\%$ da matéria seca

MGeo - Raiz de ordem “n” do produto dos teores nutricionais pelo valor R

Zx - Relação multivariada

$I_X - I_X$ = Índice CND de um nutriente qualquer (X)

mX - Norma média das relações multivariadas do nutriente X

Sx – Norma desvio-padrão das relações multivariadas do nutriente X

$|I_X|$ - Módulo dos índices nutricionais CND de cada nutriente

DV - Deficiência verdadeira

DF - Deficiência falsa

AV - Adequado verdadeiro

AF – Adequado falso

VS – Verdadeiro adequado

P_{CND} – Índice CND para o fósforo

P_1 - Produtividade média

P_2 - Produtividade média + 0,5 desvio-padrão

P_3 - Produtividade média + 1,0 desvio-padrão

P_4 - Produtividade média + 1,5 desvio-padrão

P_5 - Produtividade média + 2,0 desvio-padrão

V/F – Razão para deficiência

f – Fator de ajuste no cálculo do IBNm

CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais

Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas que mais consomem fertilizante no Brasil (ANDA, 2013), especialmente fosfatado, dado o baixo teor desse nutriente em solos tropicais, constituindo-se elemento-chave para a obtenção de elevada produtividade em cana-de-açúcar.

Diante disso, o monitoramento nutricional da cultura é de grande importância e pode ser realizado pela análise química do solo ou pela diagnose foliar. Contudo, a recomendação da adubação fosfatada em cana-de-açúcar ainda é baseada quase que exclusivamente na análise de solo.

No cenário futuro, em que se prevê maior escassez de fertilizantes, com aumento de seu custo unitário, poderá comprometer fração importante da lucratividade do setor, se na implantação e na manutenção destes sistemas não forem adotadas práticas de monitoramento nutricional que possibilitem a melhoria da fertilidade dos solos e a manutenção de lavouras nutricionalmente equilibradas.

Portanto, é necessária a adoção do monitoramento do estado nutricional das lavouras comerciais de cana-de-açúcar pela análise química foliar, que pode ser interpretada pelos métodos univariados (nível crítico ou faixa de suficiência).

Contudo, esses métodos não apresentam valores de referência atualizados e precisos de avaliação do estado nutricional da cultura, uma vez que os padrões nutricionais de referências foram construídos na década de 80, em um sistema de cultivo de cana distinto e também com variedades distintas do atual. Além disso, o método univariado propõe a avaliação dos teores de nutrientes isoladamente.

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) é um método de diagnóstico do estado nutricional de plantas, pelo qual os nutrientes não são considerados pelos seus teores individuais (análises univariadas), mas, sim, pelas relações binárias (análises bivariadas), e a utilização de duplas relações de

nutrientes pode explicar, em parte, as interações entre os elementos (WALWORTH; SUMNER, 1988), porém esse método é estatisticamente sujeito a falhas (PARENT, 2011).

Diante disso, o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) apresenta melhor fundamentação estatística, utilizando a transformação da razão log centralizada (PARENT; DAFIR, 1992), usada para analisar dados composicionais, como os teores de nutrientes (AITCHISON, 1986), para tentar corrigir e ajustar o procedimento DRIS.

No CND, é gerado um fator de correção para qualquer nutriente, colocando todos os elementos essenciais em análise (multinutriente) (PARENT, 2011). Desse modo, o CND expande o conceito de um espaço bidimensional para um multidimensional (PARENT et al., 2013).

Contudo, apesar da utilização do método CND para interpretação do estado nutricional de diversas culturas, inclusive da cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2013; POLITI et al., 2013; DIAS et al., 2013; PARTELLI et al., 2014), muitos fatores ainda precisam ser mais bem estudados, fatores esses como os critérios de escolha das populações de referência, estudos para validar os critérios de interpretação dos índices nutricionais a partir da acurácia dos diagnósticos nutricionais.

Nesse cenário, os estudos que avaliaram critérios de escolha das populações de referência apresentam resultados discordantes, e alguns trabalhos sugerem uma definição arbitrária do nível de produtividade considerado para o estabelecimento do ponto de corte entre as duas subpopulações (WALWORTH; SUMNER, 1987). Outros autores utilizam critérios específicos para definir a população de referência (PÍPERAS et al., 2009; WADT et al., 2013; SERRA et al., 2013; SERRA et al., 2014).

Entretanto, para determinar qual o melhor critério para definir a população de referência, é preciso utilizar métodos que avaliem a utilidade dos diagnósticos nutricionais, como, por exemplo, os métodos do grau de concordância; Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm) ou índice CND e a produtividade.

A dificuldade de utilização desses métodos para avaliar os diagnósticos nutricionais ocorre por eles não expressarem o verdadeiro estado nutricional da planta. Deste modo, foram desenvolvidas medidas de acurácia que utilizam a

resposta da planta ao nutriente em análise e avaliam a qualidade do diagnóstico nutricional (BEVERLY; HALLMARK, 1992).

As medidas de acurácia consistem em determinar o grau de acerto do diagnóstico nutricional determinado por qualquer método de interpretação frente ao verdadeiro estado nutricional determinado pela resposta da planta à adubação (WADT et al., 2016).

Acrescenta-se, ainda, que as medidas de acurácia possam validar os critérios de interpretação dos índices nutricionais. Existem diversos métodos para a interpretação dos índices de balanço nutricional, dentre os quais, um dos mais utilizados no Brasil é o método do Potencial de Resposta da Planta à Adubação (PRA) (WADT, 2005).

Esse método tem sido amplamente utilizado na literatura para interpretação de índices DRIS e CND de diversas culturas (WADT; DIAS, 2012; POLITI et al., 2013; SCUCUGLIA; CRESTE, 2014; PARTELLI et al., 2014); no entanto, não existe, até o momento, uma adequada validação deste método para a interpretação do estado nutricional das culturas.

Frente ao exposto, têm-se as hipóteses de que o estabelecimento de populações de referência com maior amplitude de produtividade aumenta a acurácia dos diagnósticos nutricionais do nutriente P em cana-planta, e a obtenção da melhor população de referência pode não ser suficiente em garantir alta acurácia dos diagnósticos nutricionais.

Ainda, que o método CND é eficiente na avaliação do estado nutricional das plantas, quando se utilizam fatores de ajuste nos valores do IBNm de menor amplitude na interpretação dos índices nutricionais pelo critério do PRA e que limites de respostas de produtividade de maior rigor permitem maiores incrementos de produtividade em cana-de-açúcar.

Objetivo geral

Objetivou-se avaliar medidas de acurácia sob diferentes populações de referência e fatores de ajuste na interpretação de índices nutricionais do método CND para diagnóstico nutricional do fósforo em cana-de-açúcar.

Objetivos específicos

- I. Estabelecer o critério para definir a população de referência em cana-de-açúcar pelo método CND;
- II. Validar o critério do PRA para a interpretação dos índices nutricionais em cana-de-açúcar pelo método CND;
- III. Determinar o valor percentual a ser considerado como incremento de produtividade de colmos em cana-de-açúcar pelo método CND.

Revisão de Literatura

Interpretação da análise foliar

Dentre os métodos mais utilizados para interpretação do estado nutricional das plantas, destacam-se os métodos univariados: o método do nível crítico e da faixa de suficiência; dentre os métodos bivariados, destaca-se o método DRIS e, considerando-se as relações multivariadas, o método CND (WADT, 2011; CAMACHO et al., 2012).

O método do nível crítico determina a concentração em uma parte específica da planta, em determinado estágio de crescimento correspondente a um percentual da produção máxima, mais especificamente, a 90 – 95 % deste máximo. Procura-se,

deste modo, comparar a concentração do nutriente em determinado órgão da planta a um banco de dados de referência (SUMMER, 1979).

Outro método univariado utilizado para a interpretação da análise foliar é a faixa de suficiência que está menos sujeita aos pequenos efeitos do ambiente e da planta, em comparação ao método do nível crítico. No entanto, este método diminui a precisão do diagnóstico devido aos limites da faixa de suficiência que são mais amplos (SUMNER, 1979).

Os limites inferior e superior da faixa de suficiência são obtidos em ensaios de calibração, que devem ser conduzidos em vários locais e em diversos anos, mantendo-se os demais fatores de produção (inclusive outros nutrientes) controlados e com suprimento adequado ao pleno desenvolvimento das plantas (NOVAIS et al., 2007).

Contudo, esse método de interpretação está sujeito a erros quando as condições de crescimento das plantas não forem semelhantes às aquelas utilizadas para obter a curva de calibração, seja no que diz respeito ao local de condução dos ensaios, seja à idade das plantas e do tecido, ao tipo de material genético, à posição do tecido na planta, à época do ano, à disponibilidade dos demais nutrientes, dentre outras (WADT, 2011).

O método DRIS é considerado o principal método bivariado em uso (PEVERILL, 1993), proposto por Beaufils (1973). A principal premissa para a utilização deste método é que as relações entre nutrientes, relações essas denominadas duais, indicam melhor o equilíbrio nutricional do que o teor do nutriente isoladamente (JONES, 1981), como ocorre nos métodos univariados.

Este método foi criado inicialmente com o objetivo de classificar os nutrientes quanto à ordem de limitação ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas (COSTA, 1999), independentemente da idade ou do órgão da planta a ser amostrado (BAILEY et al., 1997). Pretendia-se identificar todos os fatores nutricionais limitantes da produtividade das culturas e, assim, aumentar as chances de incrementar a produtividade pelo aprimoramento das recomendações de fertilização.

Uma das limitações do método DRIS está relacionada à sua restrita aplicação em estatística multivariada, como, por exemplo, análise de componentes principais que contemple todas as relações binárias do DRIS (PARENT; NATALE, 2008).

Para tornar o DRIS adequado para estatísticas multivariadas, foi desenvolvido o método CND por Parent e Dafir (1992), de acordo com os estudos de Aitchison (1982), que se fundamentou em relações log-transformadas entre cada nutriente e a média geométrica da composição nutricional do tecido amostrado (PARENT; DAFIR, 1992).

A ideia inicial deste método partiu da análise de dados composicionais (CDA), que descreveu um dado de forma quantitativa e relativa a um todo. Tais dados são muito comuns em áreas de pesquisa como a geologia e a ciência do solo. Exemplo de dados composicionais é a distribuição do tamanho de partículas minerais (areia, silte e argila) de um solo, que no todo sempre é 100%. O CND também entende que o todo de uma amostra foliar é 100%. No entanto, para trabalhar em função da massa da amostra, o método utiliza um valor de referência para o todo (AITCHISON, 1986).

Diagnose da Composição Nutricional em cana-de-açúcar

O método CND vem sendo utilizado para avaliação do estado nutricional de várias culturas comerciais, em diferentes regiões do País (POLITI et al., 2013; DIAS et al., 2013; PARTELLI et al., 2014).

Quanto ao uso desse método em cana-de-açúcar, alguns trabalhos são descritos na literatura, como, por exemplo, por Santos et al. (2013), que estudaram as faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos da Chance matemática (ChM), DRIS, CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. Este estudo foi desenvolvido, utilizando-se de amostras de uma população de plantas de lavouras comerciais de cana-planta e cana-soca, na região de Campos dos Goytacazes-RJ. Os dados de produtividade acumulada foram referentes aos anos de 1996 e 1997.

Foram utilizados, para as análises, os dados dos teores totais de nutrientes de 50 amostras foliares e a produtividade da cana-de-açúcar oriunda de talhões com média de 60 t ha^{-1} . Para o ajuste do método, a população foi dividida em duas classes: uma com produtividade acima de 78 t ha^{-1} , definida como subpopulação de alta produtividade, cuja produção de cana foi superior à média adicionada a 0,5 desvio-padrão; e a outra, com produtividade abaixo (SANTOS et al., 2013).

Os autores verificaram que a utilização dos métodos propostos pode ser adotada para o diagnóstico nutricional e a calibração de teores ótimos para a cultura da cana-de-açúcar a partir de monitoramento de lavouras comerciais (SANTOS et al., 2013).

Bertalli (2011) estudou a diagnose nutricional da cana-de-açúcar utilizando o método CND. Teores foliares de nutrientes de 126 lavouras comerciais de cana-de-açúcar, da região de Campos dos Goytacazes-RJ, foram analisados durante a safra de 1996-1997 para o cálculo de índices CND. Estabeleceu-se a produtividade referência para a cultura da cana-de-açúcar em 69 t ha^{-1} . Dados de produtividade foram obtidos nos locais amostrados quando a cultura atingiu o ponto de colheita, que, juntamente com seus respectivos teores foliares formaram o banco de dados.

O método CND foi calculado, utilizando-se da distância de Mahalanobis (D_2), o índice CND (li) do componente i -ésimo foi computado como variável padrão, usando a média (Vi) e o desvio-padrão (SDi^*) de uma subpopulação de alto rendimento, servindo apenas para estabelecer uma ordem de carência potencial do índice mais negativo (carência relativa) ao índice mais positivo (excesso relativo), sendo calculado para cada nutriente (BERTALLI, 2011).

As normas CND foram constituídas da média aritmética e desvio-padrão das variáveis em uma população de alta produtividade. O procedimento de Cate-Nelson foi utilizado para separar os dados de rendimento entre dois grupos, no banco de dados de validação, determinando-se os valores-limite para os índices de nutrientes e CND_r^2 (BERTALLI, 2011).

O autor concluiu que o índice $CND-r^2$ apresentou correlação positiva com a produtividade da cultura da cana-de-açúcar na população estudada. O valor de 69 t ha^{-1} definiu as subpopulações de alta e baixa produtividades (BERTALLI, 2011).

População de referência

A população de referência é baseada na premissa de que existe uma relação significativa entre o suprimento de nutrientes e seus teores na planta, de modo que aumentos ou decréscimos em suas concentrações proporcionem variação na produtividade (HOOGERHEIDE, 2005).

O banco de dados é oriundo tanto de experimentos de adubação como de áreas comerciais (SCHUTZ; VILLIERS, 1987) e devem ser coletados sob as mais variadas condições ambientais possíveis, de maneira que toda a variabilidade de fatores que agem sobre a população de referência esteja nela representada (BEAUFILS, 1973; SUMNER, 1979; LETZSCH; SUMNER, 1984).

Os métodos de interpretação do estado nutricional da planta exigem que uma determinada população em estudo, da qual se desejam obter padrões nutricionais, seja separada em duas categorias: a) população de referência, que não foi afetada por condições adversas e que possui produtividade superior a um nível estabelecido; e b) população não referência, que foi afetada por condições adversas, produzindo menos que o nível estabelecido (BEAUFILS, 1973).

Para a subdivisão das duas populações (alta e baixa produtividades), não existe um critério bem definido na literatura (BEAUFILS, 1973). Walworth e Sumner (1987) sugerem uma definição arbitrária do nível de produtividade considerado para o estabelecimento do ponto de corte entre as duas subpopulações. Letzsch e Sumner (1984) recomendam que o banco de dados seja suficientemente grande e que tenha pelo menos 10% das observações dentro da subpopulação de alta produtividade. Outros autores utilizam critérios específicos para definir a população de referência (PÍPERAS et al., 2009; SERRA et al., 2013; WADT et al., 2013; SERRA et al., 2014).

Dessa forma, vários critérios têm sido propostos para selecionar a expressão mais adequada para a população de referência; entretanto, o mais utilizado tem sido o critério da maior relação de variâncias entre a população de baixa e alta produtividades (LETZSCH, 1985; WALWORTH; SUMNER, 1987).

Outro critério muito utilizado para determinar o ponto de corte da população de referência é a correlação entre o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e a

produtividade, em que valores de IBN próximos a zero indicam equilíbrio nutricional e, conseqüentemente, quanto mais distantes de zero, seja positivo, seja negativo, apontam o desequilíbrio, ou seja, plantas com IBN próximo de zero (equilibradas nutricionalmente) e com baixa produtividade jamais serão utilizadas como normas. Nesses casos, existem outros fatores que estão afetando a produtividade que não são de ordem nutricional (HOOGERHEIDE, 2005; GUINDANI et al., 2009).

O critério para a escolha da população de referência também tem sido feito com base no grau de concordância (SERRA et al., 2013); entretanto, a utilização desse critério para escolha de normas, não implica, necessariamente, que os diagnósticos sejam verdadeiros, apenas indica que as normas são concordantes ou discordantes entre si.

Contudo, esses critérios de definição da população de referência podem não resultar na possibilidade de definir o melhor conjunto de normas por não avaliarem objetivamente a resposta da planta à aplicação do nutriente. Assim, medidas de acurácia foram propostas por Beverly e Hallmark (1992) e Wadt e Lemos (2010).

Medidas de acurácia do diagnóstico nutricional

O primeiro método proposto para avaliar a utilidade de sistemas de diagnóstico do estado nutricional de plantas foi o “Prescient Diagnostic Analysis Methodogy” (PDAM) (BEVERLY, 1987; BEVERLY; HALLMARK, 1992; BEVERLY, 1992; BEVERLY, 1993). Esses autores propuseram duas medidas de acurácia (eficiência e razão) e uma medida de ganho absoluto na produtividade, em função do acerto ou do erro dos diagnósticos (incremento dos prognósticos).

Resumidamente, o processo proposto consiste em: a) aproveitar informações de ensaios experimentais convencionais, os quais avaliam a resposta das plantas à adição de nutrientes; b) escolher um tratamento-teste, onde se avalia a resposta da planta à aplicação de um dado nutriente, comparando-a com a de um tratamento-controle, o qual difere do primeiro unicamente pela ausência ou pela menor dose do nutriente em análise; c) avaliar o estado nutricional da planta no tratamento-controle,

definindo como insuficiente ou normal (equilibrado), de acordo com critérios específicos do método a ser testado (BEVERLY, 1993); d) avaliar se a adição do nutriente (tratamento-teste) resultou em maior produtividade, quando comparada com o tratamento sem o nutriente (tratamento-controle). Se houve aumento da produtividade, este será considerado como provavelmente limitante do rendimento, ou seja, deficiente. Neste caso, se o diagnóstico nutricional, feito no tratamento-controle, tiver indicado insuficiência, então o diagnóstico será considerado verdadeiro (V); se o diagnóstico nutricional no mesmo tratamento-controle tiver indicado estado equilibrado, então o diagnóstico será considerado falso (F); e) na mesma avaliação, se a adição do nutriente não resultou em maior produtividade, este será considerado em níveis suficiente (BEVERLY, 1993).

No Brasil, o sistema proposto por Beverly e Hallmark (1992) foi adotado por Teixeira et al. (2002), que relataram desempenho superior do DRIS em relação ao nível crítico para diagnósticos de nitrogênio em bananeira. O uso do DRIS resultou em eficiência de 69%, razão de acurácia de 1,50 e incremento de 124 t ha⁻¹ na produtividade, enquanto o método do nível crítico obteve 48% de eficiência, 0,68 de razão de acurácia e incremento de apenas 20 t ha⁻¹ na produtividade.

Martins (2015), aplicando o mesmo procedimento proposto por Beverly e Hallmark (1992), para a avaliação do estado nutricional de feijoeiro pelo método CND e nível crítico em 284 parcelas experimentais com diferentes doses de P, na região Norte e Nordeste do Brasil, observou para o método CND valores de eficiência do diagnóstico de 63% e de 4,01 para a razão da acurácia, com um incremento médio de produtividade de 127,4 kg ha⁻¹, enquanto o método do nível crítico apresentou eficiência de 58%, razão de acurácia de 4,12 e perda de produtividade de 10,8 kg ha⁻¹.

Anos depois, Wadt e Lemos (2010) propuseram sete medidas de acurácia para tornar a avaliação do estado nutricional compatível com a utilização do critério do PRA (WADT, 2005), bem como adaptações para o cálculo do incremento na produtividade relacionado aos diagnósticos realizados. Essas novas medidas de acurácia incluem três possíveis estados fisiológicos (deficiência, suficiência e toxicidade) e três possíveis diagnósticos nutricionais (insuficiência, equilíbrio e excesso).

Wadt et al. (2016), a título de exemplo, aplicando a metodologia proposta por Wadt e Lemos (2010) em ensaios de adubação fosfatada, em parcelas experimentais cultivadas com feijão-caupi, verificaram que a acurácia global foi de 47%, valor inferior ao de 63% obtido quando se calculou a eficiência pelo método proposto por Beverly e colaboradores (BEVERLY, 1987; BEVERLY; HALLMARK, 1992; BEVERLY, 1992; BEVERLY, 1993).

Acurácia do critério do Potencial de Resposta da Planta à Adubação

No Brasil, para a interpretação dos diagnósticos nutricionais, seja aqueles obtidos pelo método DRIS, seja pelo CND, tem sido largamente utilizado o método do PRA, como tentativa de indicar qual é o nutriente-problema, seja por excesso seja por deficiência, indicando também uma possibilidade de resposta à adubação.

Contudo, para o uso correto dos métodos de interpretação do estado nutricional das plantas, é preciso questionar a confiabilidade dos dados obtidos. Deste modo, Wadt et al. (2016) sugerem que a melhor forma de fazer a validação destes métodos é a partir do verdadeiro estado nutricional da planta, determinado pela resposta à adubação, que é denominado de acurácia do diagnóstico nutricional.

Acrescenta-se, ainda, que para a recomendação de qualquer método de interpretação do estado nutricional, além de realizar a acurácia dos diagnósticos, é preciso que os diagnósticos nutricionais obtidos tenham eficiência de, pelo menos, 50% (TEIXEIRA et al., 2002), valor de razão de acurácia (V/F) acima de 1,0 (WADT et al., 2016) e que apresentem incrementos de produtividade a partir dos diagnósticos de verdadeira deficiência.

Dessa forma, quando os métodos de interpretação do estado nutricional não satisfazem os critérios descritos acima, devem ser ajustados. Deste modo, o método do PRA pode ser melhorado a partir de ajuste na forma de interpretação do estado nutricional, ou seja, ajustes nos valores do IBNm, que consistem nas atribuições de fatores (f), no cálculo do IBNm e novamente realizada a interpretação do estado

nutricional da planta por meio do método do PRA e comparado ao verdadeiro estado nutricional da planta.

Sobre este assunto, apenas Martins (2015), em feijão-caupi, realizou estudos para avaliar os critérios de interpretação do estado nutricional adotados pelo método do PRA, verificando que, apesar da maior eficiência do método CND em comparação ao nível crítico, ainda assim, constatou-se perda de produtividade de até 40 kg ha⁻¹ ao adotar o PRA para a interpretação do estado nutricional da planta, para o nutriente potássio, embora para o fósforo o mesmo método tenha indicado ganho de produtividade de 129 kg ha⁻¹.

Para melhorar o método do PRA, a autora utilizou ajustes nos valores do IBNm em feijão-caupi, em dois anos de cultivo, com diferentes doses de K e P, na região Norte e Nordeste do Brasil. Concluiu que o uso do fator $f=0$ promoveu os maiores incrementos na produtividade quando adicionado aos nutrientes K e P em todas as situações testadas (MARTINS, 2015).

Assim, tem-se a necessidade de melhoria dos procedimentos de interpretação do estado nutricional, antes que este venha a ser recomendado para o manejo das adubações.

Referências

AITCHISON, J. **The statistical analysis of compositional data**. Chapman e Hall, 1986, p. 416.

AITCHISON, J. The statistical analysis of compositional data. **Journal of the Royal Statistical Society / B**, v. 44, p. 139-177, 1982.

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 2013.

BAILEY, J. S.; BEATTIE, J. A. M.; KILPATRICK D. J. The Diagnosis and Recommendation Integrate d System (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: I. Model establishment. **Plant and Soil**, v. 197, p. 127-135, 1997.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. Bloemfontein: University of Natal, 1973, p. 132.

BERTALLI, G. J. **Diagnose nutricional da cana-de-açúcar utilizando o método CND**. 2011. 32f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul, 2011.

BEVERLY, R. B.; HALLMARK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, p. 2633-2640, 1992.

BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, p. 901-920, 1987.

BEVERLY, R. B. DRIS Diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, p. 1.431-1.447, 1993.

BEVERLY, R. B. Prescient diagnostic analysis shows sufficiency range approach superior to DRIS for Citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, p. 2.641-2.649, 1992.

CAMACHO, M. A.; SILVEIRA, M. V. da; CAMARGO, R. A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranja-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 193-200, 2012.

COSTA, A. N. Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **Boletim Informativo -SBCS**, Viçosa/MG, v. 24, 1999.

DIAS, J. R. M.; TUCI, C. A. F.; WADT, P. G. S.; PARTELLI, F. L.; PEREZ, D. V.; ESPINDULA, M. C.; TOMIO, D. B. Antecipação do período de diagnose foliar em laranja 'pera' no Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 757-764, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000700008>>.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 109-118, 2009.

HOOGERHEIDE, H. C. **DRIS para avaliação do estado nutricional da soja em duas regiões do cerrado brasileiro**. 2005. 94f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

JONES, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, p. 785-794, 1981.

LETZSCH, W. S. Computer program for selection of norms for use in the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 16, p. 339-347, 1985.

LETZSCH, W. S.; SUMNER, M. E. Effect of population size and yield level in selection of Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 997-1006, 1984.

MARTINS, R. A. **Acurácia da avaliação do estado nutricional de P e K em caupi**. 2015. 54f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2015.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-550.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; GENTILE, V. H.; NAESS, K.; MARCHAND, S.; LAFOND, J.; MATTOS JUNIOR, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-10, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2013.00039>>.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A. The orethical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal American Society Horticultural Science**, v. 117, p. 239-242, 1992.

PARENT, L. E.; NATALE, W. CND: vantagens e benefícios para culturas de alta produtividade. In: PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; VALE, D. W.; CORREIA, M. A. R.; SOUZA, H. A. (Ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2008. p. 105-114.

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

PARTELLI, F. L.; DIAS, J. F. M.; VIEIRA, H. D.; WADT, P. G. S.; JUNIOR, E. P. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p. 858-866, 2014.

PEVERILL, K. I. Soil testing and plant analysis in Austrália. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 33, p. 963- 971, 1993.

PÍPERAS, G. V.; CRESTE, J. E.; ECHER, F. E. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 56, p. 818-825, 2009.

POLITI, L. S.; FLORES, R. A.; SILVA, J. A. S. da; WADT, P. G. S.; PINTO, P. A. da C.; PRADO, R. de M. Estado nutricional de mangueiras determinado pelos métodos DRIS e CND. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 11-18, 2013.

SANTOS, E. F. D.; DONHA, R. M. A.; ARAÚJO, C. M. M.; 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 Ciência do Solo**, v. 37, p. 1651-1658, 2013.

SCHUTZ, C. J.; VILLIERS, J. M. Foliar diagnosis and fertilizer prescription in forestry – the DRIS system and its potential. **South African Forestry Journal**, v. 141, p. 6-12, 1987.

SCUCUGLIA, C. L.; CRESTE, J. E. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) of tomato in greenhouse. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 200-204, 2014.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ENSINAS, S. C.; MORAIS, H. S.; CONRAD, V. A.; GUIMARÃES, F. C. N.; BARBOSA, G. P. O. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to Assess the Nutritional State of Cotton Crop in Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 508-516, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.54065>>.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ROJAS, E. P.; MORAIS, H.S.; CONRAD, V. A.; GUIMARÃES, F. C. N. Estabelecimento de normas DRIS para o algodoeiro com diferentes critérios de seleção da população de referência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1472-1480, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013001100008>>.

SUMNER, M. E. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. **Agronomy Journal**, v.71, p. 343-348, 1979.

TEIXEIRA, L. A. J.; SANTOS, W. R.; 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, p. 530-535, 2002.

WADT, P. G. S. **Diagnose Foliar e Recomendação de Adubação para Lavouras Comerciais**. Rio Branco: Embrapa, 2011 (Documento Técnico, 120).

WADT, P. G. S.; DIAS, J. R. M. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 822-830, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600013>>.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 227-234, 2005.

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

WADT, P. G. S.; LEMOS, C.O. Medidas de acurácia para diagnósticos nutricionais e seu impacto no manejo das adubações. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2010, p. 213-236.

WADT, P. G. S.; TRASPADINI, E. I. F.; MARTINS, R. A.; MELLO, F. B.; OLIVEIRA, I. J.; RODRIGUES, J. E. L. F.; BASTO, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. Medidas de Acurácia na Qualificação dos Diagnósticos Nutricionais: Teoria e Prática. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPE, 2016, p.373-392.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Advance in Soil Science**, v. 6, p. 149-188, 1987.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. Foliar diagnosis: a review. **Advances in Plant Nutrition**, v. 539, p. 193-240, 1988.

CAPÍTULO 2: População de referência para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar, em relação ao fósforo, pelo método CND

Resumo - O uso de diferentes critérios para a definição da população de referência, aliado à avaliação da acurácia dos diagnósticos nutricionais, pode possibilitar a definição do melhor conjunto de normas CND para a cana-de-açúcar. Nesse sentido, o propósito com este trabalho foi utilizar o método de Beverly e Hallmark para estabelecer o critério de definição das populações de referência para o método da composição da diagnose nutricional em cana-de-açúcar, com base no estado nutricional para fósforo. Para os estudos, utilizaram-se dados coletados em cinco áreas experimentais cultivadas com cana-de-açúcar do primeiro ciclo (safra 2013), localizadas em três municípios do Estado de São Paulo, Brasil. As variedades de cana-de-açúcar cultivadas foram a CTC 15 e RB 855453. Para gerar o banco de dados, foi considerado o fatorial $3 \times 4 \times 2 \times 2$, sendo três fontes de fósforo, quatro doses de P_2O_5 ; na ausência e na presença de torta de filtro e duas épocas de amostragem foliar, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento. Os critérios utilizados para o estabelecimento das populações de referência foram a produtividade média; a produtividade média + 0,5 desvio-padrão; a produtividade média + 1,0 desvio-padrão; a produtividade média + 1,5 desvio-padrão e a produtividade média + 2,0 desvios-padrão. Foi estudado o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm), o índice CND e a produtividade; o grau de concordância entre as normas e a acurácia dos diagnósticos nutricionais para P. Com base nas populações de referência avaliadas não foi possível definir o melhor conjunto de normas a partir dos critérios do grau de concordância ou pela análise da dispersão entre a produtividade e os índices IBNm e CND. A análise da acurácia dos diagnósticos nutricionais para o fósforo 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.

Palavras-chave: *Saccharum* spp, normas, acurácia.

Introdução

Diversos fatores podem ser apontados como responsáveis pela baixa produtividade agrícola em regiões tropicais, destacando-se o uso e manejo inadequado das adubações das culturas. Uma possibilidade para aumentar a eficiência das adubações consiste em adotar o monitoramento do estado nutricional das culturas para definir os ajustes nas adubações, em complemento às demandas determinadas pela exportação de nutrientes pelas culturas e a avaliação da fertilidade do solo.

Esta alternativa baseada na avaliação do estado nutricional torna-se mais relevante em culturas perenes e semiperenes, das quais se destaca a cana-de-açúcar devido a sua elevada produtividade de biomassa, associada à elevada demanda por nutrientes.

Nesse cenário, a adubação fosfatada constitui prática de grande importância para o aumento de produtividade da cana-planta, soqueiras subsequentes e longevidade dos canaviais, uma vez que a nutrição adequada de P promove melhor atividade fotossintética das plantas, maior desenvolvimento radicular, que leva à maior absorção de nutrientes, maior perfilhamento e produção da cultura da cana-de-açúcar (DEVI et al., 2012).

O estado nutricional pode ser conhecido pela interpretação dos teores dos nutrientes nas folhas, utilizando-se de métodos univariados (nível crítico ou as faixas de suficiência) com valores-padrão definidos (CAMACHO et al., 2012) ou por métodos bivariados como o DRIS ou multivariados, como o CND.

Entretanto, a eficiência do método CND no diagnóstico nutricional depende dos critérios utilizados para a definição dos valores de referência e, portanto, do conjunto de lavouras utilizadas para a obtenção destes valores, uma vez que esses padrões determinam, diretamente, a diagnose nutricional (SERRA et al., 2013).

Diversos critérios são utilizados para definir a população de referência, de acordo com BEAUFILS (1973); no grupo de média produtividade, há melhor representatividade da variabilidade das relações entre nutrientes. Outros autores utilizaram, em sua base de dados, a média + 0,5 desvio-padrão como critério para separar as subpopulações (URANO et al., 2006; URANO et al., 2007; WADT et al., 2013; SANTOS et al., 2013a).

Alguns autores utilizam critérios específicos para separar as populações de referência, como observado por Serra et al. (2013) em algodoeiro, que utilizaram quatro critérios de separação dos talhões: produtividade acima da média da população de lavouras amostradas; talhões com produtividade acima da média + 2/3 desvio-padrão; talhões com produtividade acima da média + 1 desvio-padrão; e talhões com produtividade acima da média + 4/3 desvio-padrão.

Além de definir os critérios de obtenção da população de referência, é preciso avaliar a qualidade dos diagnósticos nutricionais formados. Nesse contexto, Píperas et al. (2009) avaliaram os diagnósticos das populações, escolhendo a melhor relação entre o IBN e a produtividade. Outros trabalhos avaliam o desempenho dos diagnósticos, utilizando outros parâmetros, como o índice CND e a produtividade (QUEIROZ et al., 2014; BARŁÓG, 2016), ou o grau de concordância (SERRA et al., 2013).

Esses parâmetros de avaliação do estado nutricional são baseados, na maioria das vezes, em modelos que apresentam a maior correlação, e quando se utiliza como critério o grau de concordâncias entre os diagnósticos nutricionais, é utilizado sempre, como modelo, o conjunto de normas com maior grau de concordância.

Entretanto, esses critérios citados de avaliação da qualidade dos diagnósticos nutricionais podem não resultar na possibilidade de definir o melhor conjunto de normas, por não avaliar objetivamente a resposta da planta à aplicação do nutriente. Assim, medidas de acurácia foram propostas por Beverly e Hallmark (1992), que utilizaram a resposta da planta ao nutriente em análise e avaliaram a qualidade do diagnóstico nutricional.

No Brasil, somente Teixeira et al. (2002) utilizaram o método de Beverly e Hallmark (1992) para avaliar a qualidade dos diagnósticos, comparando os métodos DRIS e o nível crítico como ferramenta para avaliar o estado nutricional de N e K em bananeiras. Frente ao exposto, têm-se as hipóteses de que o estabelecimento de populações de referências com maior amplitude de produtividade aumenta a acurácia dos diagnósticos nutricionais do nutriente fósforo em cana-planta, e a obtenção da melhor população de referência pode não ser suficiente em garantir alta acurácia dos diagnósticos nutricionais.

Assim, o propósito com este trabalho foi utilizar o método de Beverly e Hallmark (1992) para estabelecer o critério de definição das populações de referência para o método da composição da diagnose nutricional em cana-de-açúcar, com base no estado nutricional para fósforo.

Material e Métodos

Os dados foram coletados em cinco áreas experimentais, cultivadas com cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, na safra de 2013, localizadas em três municípios do Estado de São Paulo, sendo duas áreas localizadas em Catanduva (21°05'07"S, 48°54'22"O), duas áreas em Santa Adélia (21°16'49"S, 48°49'38"O) e uma área em Santa Albertina (20°02'44"S, 50°37'55"O) (MODA et al., 2015; CAIONE et al., 2015). As regiões de estudo apresentam, pela classificação de Köppen, clima do tipo Aw (tropical chuvoso com inverno seco).

Os solos das áreas experimentais foram classificados como Argissolo Vermelho eutrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Catanduva), Latossolo Vermelho distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (Santa Adélia) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Santa Albertina) (SANTOS et al., 2013b).

Após o preparo do solo, antecedendo o plantio, realizou-se a amostragem de solo a partir de 20 subamostras na camada de 0-20 cm de profundidade. De acordo com a análise química, seguindo a metodologia descrita por Raij et al. (2001), os resultados foram: pH (CaCl₂)= 5,5; P (resina)= 5 mg dm⁻³; e saturação por bases de 72% (Catanduva); pH (CaCl₂)= 6,0 e 5,6; P (resina)= 5 mg dm⁻³; e saturação por bases de 65% e 56% (Santa Adélia) e pH (CaCl₂)= 4,6; P (resina)= 4 mg dm⁻³; e saturação por bases de 42% (Santa Albertina). O teor de P foi classificado em todas as áreas experimentais como muito baixo (RAIJ et al., 1997).

As variedades de cana-de-açúcar cultivadas foram a CTC 15, de ciclo médio/tardio (Catanduva e Santa Adélia), e a RB 855453, de ciclo precoce (Santa Adélia e Santa Albertina).

Em todas as áreas, o plantio foi realizado de forma convencional, adotando-se o sistema de cana de ano. As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de cana-de-açúcar, com 15 m de comprimento, distanciadas 1,5 m entre si.

Consideraram-se as três linhas centrais como áreas úteis para amostragem, descartando-se 1,0 m em cada extremidade.

Para gerar o banco de dados, foi considerado o fatorial 3x4x2x2, sendo três fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfato natural de Araxá, fosfato natural reativo Bayóvar ou fosfato natural reativo Gafsa), quatro doses de P_2O_5 (0; 90; 180 e 360 kg ha^{-1} de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%); na ausência e na presença de torta de filtro decomposta, na dose de 7,5 t ha^{-1} , em base seca (equivalente a 15 t ha^{-1} , em base úmida) e duas épocas de amostragem foliar (4 e 8 meses após a brotação), em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento.

A adubação básica de plantio foi realizada de acordo com Raij e Cantarella (1997), com aplicação de 100 kg ha^{-1} de K_2O (Catanduva e Santa Adélia) e 80 kg ha^{-1} de K_2O (Santa Albertina). Aos 40 dias após a brotação, foi realizada a adubação em cobertura, aproximadamente a 10 cm da linha de plantio, aplicando-se 50 kg ha^{-1} de N, conforme indicado por Raij e Cantarella (1997). Como fonte de nitrogênio, utilizou-se o sulfato de amônio, e a fonte de potássio foi o cloreto de potássio.

As amostragens foliares foram realizadas aos quatro e oito meses após a brotação no ciclo de cana-planta, perfazendo um total de 720 amostras. Na primeira amostragem foliar, aos quatro meses, coletaram-se 15 folhas (terço médio da folha +3, excluindo-se a nervura central) por parcela, para avaliar o estado nutricional da cultura, conforme indicação de Malavolta (1992). Em pleno desenvolvimento da cultura (aos oito meses), foi realizada a segunda amostragem, coletando-se 15 folhas (terço médio da folha +1, excluindo-se a nervura central) por parcela, seguindo indicações de Raij e Cantarella (1997).

Posteriormente, as folhas foram lavadas, secas em estufa por 73 horas a 65°C, moídas, e realizada a análise química dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, de acordo com a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

Os dados de produtividade de colmos foram registrados quando a cana-de-açúcar atingiu o ponto de colheita, aos 12 meses após a brotação, colhendo-se manualmente e sem queima 3 m de cada parcela (1 m em cada linha útil), sendo os colmos pesados, e os valores, expressos em t ha^{-1} de colmos (MODA et al., 2015; CAIONE et al., 2015).

Normas CND

A partir das informações de análise química dos teores foliares e de produtividade obtidas nos experimentos, formou-se o banco de dados deste trabalho, composto por cinco populações de referência, que apresentaram produtividades acima de 172; 193; 214; 235 e 256 t ha⁻¹, as quais foram denominadas de P₁; P₂; P₃; P₄ e P₅, respectivamente. Esses valores de produtividade foram escolhidos porque representaram a produtividade média; a produtividade média + 0,5 desvio-padrão; a produtividade média + 1,0 desvio-padrão; a produtividade média + 1,5 desvio-padrão, e a produtividade média + 2,0 desvio-padrão, respectivamente, para as cinco populações de referência: P₁, P₂, P₃, P₄ e P₅.

Posteriormente, as normas CND foram produzidas a partir das transformações dos dados originais para g kg⁻¹, para permitir a comparação entre nutrientes de unidades diferentes. Em seguida, foi realizada a exclusão de valores dos teores de nutriente considerados extremos. Deste modo, foram excluídos os valores menores que o teor médio - 2,55 x desvio-padrão e aqueles maiores que o teor médio + 2,55 x desvio-padrão. Os demais valores foram mantidos para a obtenção das normas CND e para a determinação dos índices CND.

A seguir, determinou-se, para cada amostra foliar, o valor R, que corresponde ao complemento da matéria seca para 1.000 g, de acordo com a expressão: $R = 1.000 - (vN + vP + vK + vCa + vMg + vS + vB + vCu + vFe + vMn + vZn)$. Em que: R = complemento da matéria seca para 1.000 g; 1.000 = 100 % da matéria seca; vX = teor de cada nutriente em g kg⁻¹, em que: X representa cada um dos nutrientes avaliados (N, P, K ...Zn) (PARENT; DAFIR, 1992).

Feito isso, determinou-se a média geométrica (mGeo) dos teores nutricionais em cada amostra, empregando-se a fórmula: $mGeo = (vN \times vP \times vK \times vCa \times vMg \times vS \times vB \times vCu \times vFe \times vMn \times vZn \times R)^{(1/n)}$. Em que: mGeo = raiz de ordem “n” do produto dos teores nutricionais pelo valor R; “n” = número de fatores utilizados no cálculo da média geométrica (PARENT; DAFIR, 1992).

Definida a média geométrica, calculou-se a relação multivariada (zX), obtida pelo logaritmo natural do quociente entre os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn e a média geométrica da composição nutricional na amostragem foliar, segundo a expressão: $zX = \ln (vX/mGeo)$, em que: vX = teores de cada nutriente

expressos em (g kg⁻¹); e mGeo, a média geométrica dos nutrientes na amostra (PARENT; DAFIR, 1992).

Por fim, para cada conjunto de dados das populações de referência acima descritas, foram calculados as médias e o desvio-padrão das relações multivariadas para os nutrientes avaliados, as quais se constituíram nos cinco conjuntos de normas CND.

Índices CND e IBNm

O índice CND (I_X) foi obtido para cada conjunto de normas. Para o cálculo, utilizou-se a expressão: $I_X = (zX - mX)/sX$, em que: I_X = índice CND de um nutriente qualquer (X); zX = relação multivariada para esse mesmo nutriente; e mX e sX , respectivamente, a norma média e a norma desvio-padrão das relações multivariadas do nutriente X (PARENT; DAFIR, 1992).

Posteriormente, calculou-se o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm), empregando-se a expressão: $IBNm = (|I_N| + |I_P| + |I_K| + |I_{Ca}| + |I_{Mg}| + |I_S| + |I_B| + |I_{Cu}| + |I_{Fe}| + |I_{Mn}| + |I_{Zn}|) / n$, em que: IBNm = índice de balanço nutricional médio; $|I_X|$ = módulo dos índices nutricionais CND de cada nutriente, em que: X representa cada um dos nutrientes avaliados (N, P, K ...Zn); n = número de nutrientes avaliados em uma dada planta ou amostra foliar (SUMNER, 1977).

Interpretação do estado nutricional

A interpretação do estado nutricional foi realizada pelo índice CND, em três classes de interpretação: equilibrado, deficiente e em excesso. O nutriente foi considerado nutricionalmente equilibrado, quando o índice CND, em módulo, foi menor ou igual ao IBNm; deficiente, quando seu índice CND, sendo negativo, foi também, em módulo, maior que o IBNm; em excesso nutricional, quando seu índice CND, sendo positivo, foi, também, em módulo, maior que o IBNm (WADT, 2005).

Adotou-se, ainda, a interpretação em apenas duas classes: deficiente ou adequado, sendo que a classe adequada resultou do agrupamento dos casos considerados, para cada nutriente, como equilibrado e em excesso.

Grau de concordância entre diagnósticos nutricionais para o fósforo

Determinou-se o grau de concordância entre os diagnósticos do estado nutricional para o fósforo, em três classes de interpretação: equilibrado, deficiente e em excesso, comparando-se os diagnósticos obtidos para cada norma CND. Para isto, computaram-se para cada combinação de norma, os casos em que houve o mesmo diagnóstico entre dois diagnósticos, sendo considerados concordantes quando duas diferentes normas resultaram em diagnósticos semelhantes (equilibrado e equilibrado; deficiente e deficiente ou em excesso e em excesso nutricional). As demais combinações do diagnóstico foram consideradas discordantes. Definido o grau de concordância, os resultados foram expressos em porcentagem de diagnósticos concordantes.

Acurácia dos diagnósticos nutricionais para o fósforo

Determinou-se a acurácia do diagnóstico do estado nutricional para o nutriente fósforo, definido por duas classes de interpretação: deficiente e adequado, usando-se cada um dos cinco conjuntos de normas CND geradas neste trabalho.

A acurácia consistiu em verificar se o diagnóstico nutricional obtido por determinado procedimento de interpretação do estado nutricional correspondia à resposta da planta em termos de variação da produtividade, quando o nutriente avaliado tivesse sido adicionado.

Para tanto, os diagnósticos nutricionais de cada norma foram confrontados com a resposta da planta à aplicação de doses de fósforo, comparando-se sempre uma situação com ausência de fósforo (situação-controle) com outro tratamento, em que apenas houve a adição de fósforo (situação-resposta), ou tratamento com dose menor de fósforo (situação-controle), com tratamento com dose superior de fósforo (situação-resposta).

As comparações foram realizadas sempre entre tratamentos que não receberam torta de filtro e que usaram como fonte de fósforo o superfosfato triplo, com o objetivo de representar a realidade dos produtores de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. Neste subconjunto de dados, compararam-se os pares de

parcelas, de mesmo bloco experimental e que receberam os mesmos tratamentos, exceto pelas variações nas adubações fosfatadas.

Os diagnósticos da situação-controle foram classificados em deficiência ou adequado, conforme descrito acima, no critério de interpretação dos índices CND, pelo método do Potencial de Resposta da Planta à Adubação.

Os diagnósticos da situação-resposta foram também classificados como insuficiente e suficiente. Insuficiente, quando a adição de fósforo resultou em aumento de mais de 10% da produtividade, entre a situação-controle e a situação-resposta. Todos os demais casos foram classificados como suficiente.

Comparando-se o diagnóstico com a resposta das lavouras, obtiveram-se então quatro possibilidades: deficiência verdadeira (DV), quando houve resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura foi diagnosticada como deficiente; deficiência falsa (DF), quando não houve resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura foi diagnosticada como deficiente; adequado verdadeiro (AV), quando não houve resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura foi diagnosticada como adequado; adequado falso (AF), quando não houve resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura foi diagnosticada como deficiente (Tabela 1).

Foram utilizadas três medidas de acurácia propostas por Beverly e Hallmark (1992) para avaliar o desempenho dos diagnósticos nutricionais para fósforo: eficiência, razão para deficiência e rendimento.

A eficiência dos diagnósticos nutricionais foi estimada pela soma dos percentuais de diagnósticos verdadeiros (%VD + %VS). A razão da deficiência foi calculada pela proporção entre diagnósticos de deficiência verdadeira e deficiência falsa (%DV/%DF) (Tabela 2).

Tabela 1. Distribuição da adequação de diagnósticos nutricionais para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND.

Diagnóstico nutricional	Estado nutricional definido pela resposta da planta à adubação	
	Insuficiente	Suficiente
Deficiente	Verdadeira deficiência (VD)	Falsa deficiência (FD)
Adequado	Falso adequado (FA)	Verdadeiro adequado (VA)

Tabela 2. Medidas de acurácia, amplitude esperada e valores aceitáveis para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND (adaptado de Beverly e Hallmark, 1992).

Critério	Cálculo	Amplitude	Valores aceitáveis
Eficiência	$(\%VD) + (\%VS)$	0 a 100	> 50
$V \div F$	$(\%VD) \div (\%FD)$	0 a 100 (Indefinido como % FD = 0)	> 1
	$[d(Y) VD] - [d(Y) VS]$		
	$\frac{\sum d(Y)}{[d(Y) FS] + [d(Y) FD]}$	$-\infty$ a $+\infty$	> 0

VD: verdadeira deficiência; VS: verdadeira suficiência; FD: falsa deficiência, e FS: falsa suficiência. [d(Y)VD], [d(Y)VS], [d(Y)FS] e [d(Y)FD]: respostas à aplicação de fertilizantes associadas aos diagnósticos VD, VS, FS e FD, respectivamente.

Por fim, o rendimento foi calculado pela contribuição do diagnóstico para o aumento da produtividade, sendo consideradas incremento de rendimento as variações de produtividades resultantes dos diagnósticos de deficiência verdadeira e adequado verdadeira, e decréscimos no rendimento, os diagnósticos de deficiência falsa e adequado falso. O rendimento foi então obtido, para cada conjunto de normas, pelo resultado médio dos rendimentos individuais para os casos avaliados (Tabela 2).

Análise estatística

Os valores de IBNm, índice CND para fósforo e produtividade foram avaliados por meio de análise de dispersão representado por gráficos, considerando-se como variável independente o IBNm ou o índice CND, e como variável dependente, a produtividade. Em cada caso dos valores de IBNm e da produtividade, realizaram-se testes de correlações de Pearson lineares simples, utilizando-se do programa estatístico Action, versão: 3.1 (ESTATCAMP, 2014). Os modelos ajustados foram obtidos para cada conjunto de normas CND gerada neste trabalho. Utilizou-se das

planilhas Excel 2003 (Microsoft Office) e Calc (Openoffice.org versão 4.1) para a preparação dos gráficos.

Resultados e Discussão

A análise de dispersão entre os valores de IBNm e a produtividade dos talhões, para as diferentes normas CND, indicou não haver correlação linear entre o IBNm e a produtividade (Figura 1), uma vez que, para a faixa de baixos valores de IBNm, foram obtidos valores de produtividade variando de baixa a alta. Resultados semelhantes foram encontrados por Hernandez et al. (2014), em laranja-pera, no município de Bebedouro – SP, e por Queiroz et al. (2014), em trabalho com batatas, realizado nos municípios de São Gotardo e Itajubá-MG.

Esse resultado foi compatível com o modelo teórico sugerido por Beaufils (1973), que não prevê relação significativa entre produtividade e IBN, uma vez que fatores não nutricionais podem resultar em baixa produtividade, apesar de alto equilíbrio nutricional (IBN baixo).

Por outro lado, a relação entre IBN e produtividade tem sido utilizada como critério para definição de normas ou para escolha de procedimentos de cálculos, julgando-se o modelo mais adequado aquele que apresente a maior correlação. Autores que fizeram uso da relação entre IBN e produtividade, para definição de normas, foram: Serra et al. (2013) e Serra et al. (2014), que trabalharam com lavouras comerciais de algodão da região sul do Mato Grosso; Piperas et al. (2009), que trabalharam com cultivo de cana-de-açúcar em São Paulo, e Guindani et al. (2009), que trabalharam com arroz irrigado do Rio Grande do Sul.

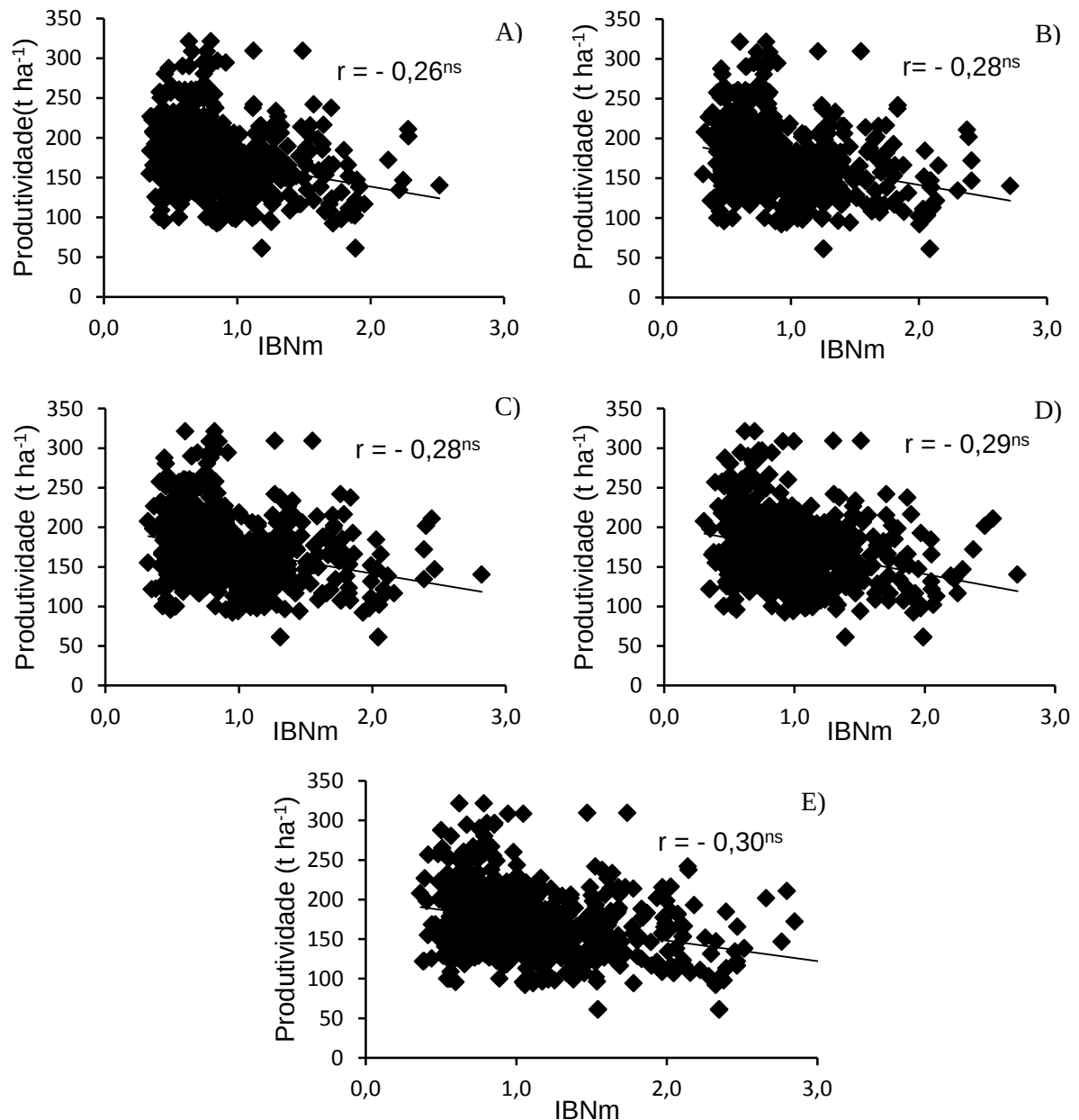


Figura 1. Dispersão dos valores de IBNm e da produtividade em relação às cinco populações de referência para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND. P_1 (A): produtividade média; P_2 (B): produtividade média + 0,5 desvio-padrão; P_3 (C): produtividade média + 1,0 desvio-padrão; P_4 (D): produtividade média + 1,5 desvio-padrão, e P_5 (E): produtividade média + 2,0 desvio-padrão. ^{ns} não significativo pelo teste F.

Adotando-se procedimento semelhante, utilizando dados selecionados de talhões comerciais de cana-de-açúcar de alta produtividade para a verificação do modelo de dispersão entre IBNm e produtividade, observa-se que a utilização de um

número menor de dados resulta em melhor definição da relação, o que resulta em maiores correlações (Figura 2), quando comparados aos valores de dispersão obtidos com todos os dados amostrais (Figura 1).

Avaliando-se apenas os dados da relação entre IBNm e a produtividade para condições específicas (menor número de dados), o desempenho das normas foi melhor à medida que somente plantas de maior produtividade foram utilizadas para a população de referência (Figura 2).

Todavia, avaliando-se o desempenho entre os dados específicos e o total de amostras, pode-se verificar que a melhor correlação entre a produtividade e IBNm poderia ser resultante do menor número de dados amostrais, refletindo em menor variabilidade dos fatores não nutricionais, ou não necessariamente com o melhor desempenho do modelo.

De modo semelhante, a avaliação gráfica da dispersão entre a produtividade e os índices CND de um nutriente pode ser utilizada para a avaliação do modelo ou das normas. Quando um grande número de dados é avaliado, deve-se esperar a maior amplitude de valores do índice do nutriente à baixa produtividade, e à medida que a produtividade aumenta, a amplitude dos valores dos índices CND do nutriente reduz-se, tendendo a valores próximos de zero. Esse modelo foi reproduzido com os dados do presente trabalho (Figura 3), independentemente do tamanho da população de referência utilizada para a produção das normas CND.

Embora alguns autores tenham utilizado esse critério para selecionar procedimentos de cálculo ou critérios para seleção de normas (HOOGERHEIDE, 2005; QUEIROZ et al., 2014; BARLÓG, 2016), normalmente com número reduzido de dados, quando se utiliza maior volume de informações, o modelo torna-se impreciso para esse propósito, dada a semelhança entre os casos avaliados, a exemplo dos resultados alcançados com as cinco populações de referência adotadas neste trabalho (Figura 3).

No trabalho de Barlóg (2016), observou-se, no gráfico de dispersão entre produtividade e índices CND, tendência de maior aderência dos dados ao modelo teórico, quando utilizado menor número de amostras foliares para a avaliação do estado nutricional, o que pode ser um equívoco, se for considerado que, neste caso, o que pode estar ocorrendo é menor variabilidade amostral.

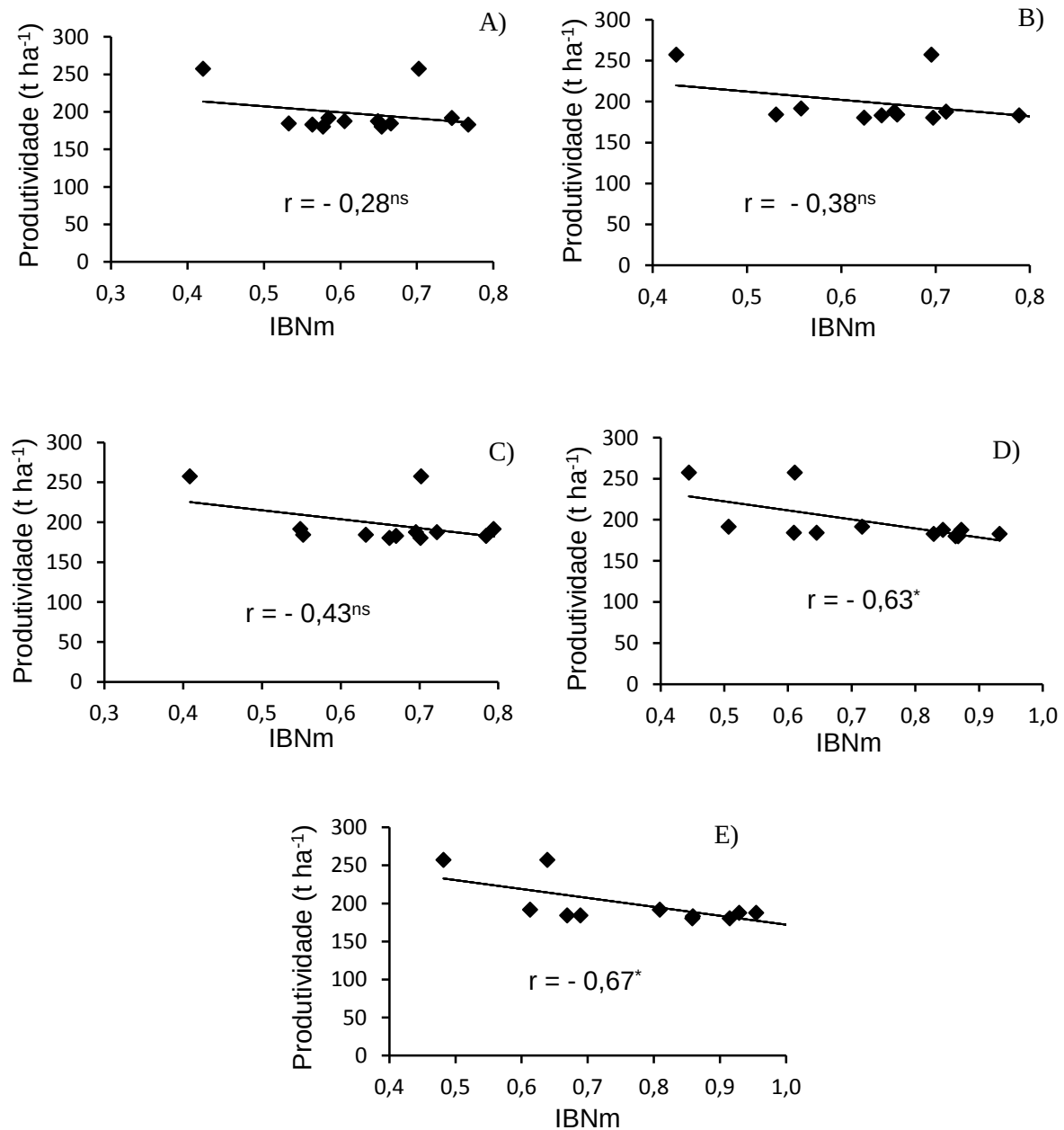


Figura 2. Dispersão dos valores de IBNm e da produtividade para condições específicas (menor número de dados) em relação às cinco populações de referência para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND. P₁ (A): produtividade média; P₂ (B): produtividade média + 0,5 desvio-padrão; P₃ (C): produtividade média + 1,0 desvio-padrão; P₄ (D): produtividade média + 1,5 desvio-padrão, e P₅ (E): produtividade média + 2,0 desvio-padrão. ^{ns} não significativo, ^{*} significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste F.

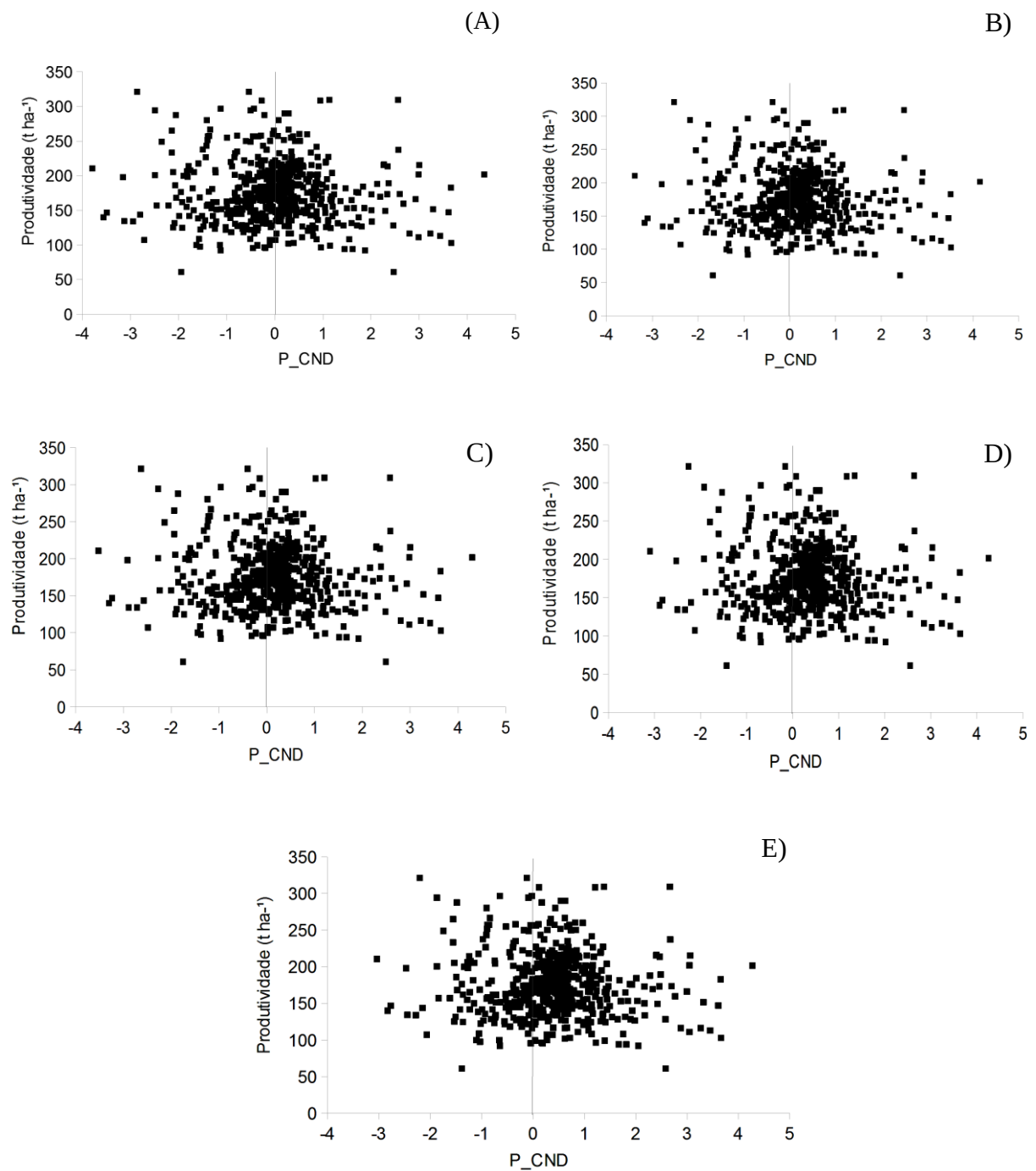


Figura 3. Dispersão dos valores de índice CND para o fósforo (P_CND) e da produtividade em relação às cinco populações de referência para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND. P_1 (A): produtividade média; P_2 (B): produtividade média + 0,5 desvio-padrão; P_3 (C): produtividade média + 1,0 desvio-padrão; P_4 (D): produtividade média + 1,5 desvio-padrão, e P_5 (E): produtividade média + 2,0 desvio-padrão.

O critério para escolha de normas também tem sido feito com base no grau de concordância entre diagnósticos obtidos de um mesmo conjunto de lavouras, a exemplo de trabalho feito em algodoeiro por Serra et al. (2013), que verificaram que a máxima concordância se deu com os critérios 3 e 4 (89,1%), que corresponderam, respectivamente, aos talhões com produtividade superior à média + s (n=18) e talhões com produtividade superior à média + 4/3 de s (n=8).

Avaliando-se o grau de concordância entre os diagnósticos produzidos entre as diferentes populações de referência, observa-se que a maior discordância ocorreu entre as normas produzidas pelas populações P1 e P5, justamente aquelas com maior diferença no número de amostras (Tabela 3). E quanto maior e mais próximo o número de amostras dentro de cada população de referência, maior a igualdade entre os diagnósticos, a exemplo de P1 x P2, P2 x P3 e P4 x P5 (Tabela 3).

Tabela 3. Grau de concordância entre cinco populações de referência, para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND, considerando 694 casos válidos.

Combinações de normas	Grau de concordância
	%
P ₁ xP ₂	92,4
P ₁ xP ₃	92,7
P ₁ xP ₄	84,6
P ₁ xP ₅	81,8
P ₂ xP ₃	98,8
P ₂ xP ₄	90,8
P ₂ xP ₅	89,2
P ₃ xP ₄	90,8
P ₃ xP ₅	89,2
P ₄ xP ₅	95,0

P₁: produtividade média; P₂: produtividade média + 0,5 desvio-padrão; P₃: produtividade média + 1,0 desvio-padrão; P₄: produtividade média + 1,5 desvio-padrão, e P₅: produtividade média + 2,0 desvio-padrão.

A utilização do grau de concordância, como critério para escolha de normas, não implica, necessariamente, que os diagnósticos sejam verdadeiros, apenas indicam que as normas são concordantes ou discordantes entre si, já que os diagnósticos nutricionais para cada norma não foram avaliados quanto à acurácia, ou seja, não foram confrontados com a resposta da planta à aplicação de doses de nutriente. Portanto, a adoção do grau de concordância pode tornar-se arbitrária.

A alternativa proposta por Beverly e Hallmark (1992) consiste em avaliar o diagnóstico de um tratamento-controle com o tratamento com aplicação do nutriente e validar o diagnóstico produzido no tratamento-controle.

Aplicando-se esse critério aos dados do presente trabalho, foi possível realizar a comparação de 900 casos para as cinco normas CND. A título de ilustração, foram apresentados apenas trinta casos (Tabela 4).

Para melhor entendimento, exemplifica-se o caso 1: o diagnóstico nutricional do tratamento-controle ($0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$), feito pelo CND, indicou estado suficiente (S), cuja produtividade foi de $116,67 \text{ t ha}^{-1}$. O tratamento de comparação escolhido foi a aplicação de $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, cuja produtividade foi de $136,00 \text{ t ha}^{-1}$, representando o aumento de 17% na produtividade com a aplicação da adubação. O aumento da produtividade com a aplicação do nutriente representa que o verdadeiro estado da planta seria deficiente no tratamento-controle (D). Portanto, o diagnóstico de suficiência foi falso e, assim, computa-se a perda de $19,33 \text{ t ha}^{-1}$ na produtividade com o diagnóstico equivocado (Tabela 4).

Avaliando-se a acurácia dos diagnósticos para o nutriente fósforo, observou-se que todas as populações de referência proporcionaram perda de produtividade com a adoção do CND para a avaliação do estado nutricional dos tratamentos. Entretanto, a menor perda de produtividade foi registrada com a utilização da norma P_1 , e as maiores perdas, com a utilização da norma P_5 , quando comparada com as demais normas (Tabela 5).

Tabela 4. Acurácia dos diagnósticos nutricionais para o nutriente fósforo, considerando cinco normas CND em cana-de-açúcar.

Caso	Comparação	Diagnose controle	Produtividade controle	Produtividade adubado	Aumento de Produtividade	Estado P real	Ganho de Produtividade
	kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅		-----t ha ⁻¹ -----		%		t ha ⁻¹
1	0x90	S	116,67	136,00	17	D	-19,33
2	0x180	S	116,67	155,33	33	D	-38,67
3	0x360	S	116,67	186,00	59	D	-69,33
4	90x180	S	136,00	155,33	14	D	-19,33
5	90x360	S	136,00	186,00	37	D	-50,00
6	180x360	S	155,33	186,00	20	D	-30,67
7	0x90	S	143,67	191,67	33	D	-48,00
8	0x180	S	143,67	258,00	80	D	-114,33
9	0x360	S	143,67	296,67	106	D	-153,00
10	90x180	S	191,67	258,00	35	D	-66,33
11	90x360	S	191,67	296,67	55	D	-105,00
12	180x360	S	258,00	296,67	15	D	-38,67
13	0x90	D	168,67	95,67	-43	S	-73,00
14	0x180	D	168,67	193,33	15	D	24,67
15	0x360	D	168,67	155,00	-8	S	-13,67
16	90x180	S	95,67	193,33	102	D	-97,67
17	90x360	S	95,67	155,00	62	D	-59,33
18	180x360	S	193,63	155,00	-20	S	38,33
19	0x90	D	61,00	120,67	98	D	59,67
20	0x180	D	61,00	134,33	120	D	73,33
21	0x360	D	61,0	140,00	130	D	79,00
22	90x180	S	120,67	134,33	11	D	-13,67
23	90x360	S	120,67	140,00	16	D	-19,33
24	180x360	D	134,33	140,00	4	D	5,67
25	0x90	S	170,00	180,20	6	D	-10,20
26	0x180	S	170,00	173,10	2	D	-3,10
27	0x360	S	170,00	199,00	17	D	-29,00
28	90x180	S	180,00	173,10	-4	S	7,10
29	90x360	S	180,00	199,00	10	D	-18,80
30	180x360	S	173,10	199,00	15	D	-25,90

0; 90; 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅. S: suficiência; D: deficiência.

Tabela 5. Medidas de acurácia para o P, na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND, admitindo-se incrementos de produtividade de colmo acima de 10%.

Normas	Ganho de Prod. média	Diagnósticos				Eficiência	Razão V/ F
		V(D)	V(S)	F(D)	F(S)		
	t ha ⁻¹					----- % -----	
P ₁	-10,29	33	37	9	97	40	3,7
P ₂	-13,79	23	40	6	107	36	3,8
P ₃	-12,78	25	40	6	105	37	4,2
P ₄	-14,94	19	44	3	110	36	6,3
P ₅	-17,40	13	42	1	120	31	13,0
Média	-13,84	23	41	5	108	36	6,2

P₁: produtividade média; P₂: produtividade média + 0,5 desvio-padrão; P₃: produtividade média + 1,0 desvio-padrão; P₄: produtividade média + 1,5 desvio-padrão, e P₅: produtividade média + 2,0 desvio-padrão. Prod: produtividade. V(D): verdadeira deficiência; V(S): verdadeira suficiência; F(D): falsa deficiência, e F(S): falsa suficiência.

Resultado semelhante foi observado por Martins (2015), avaliando a acurácia dos diagnósticos nutricionais para o potássio, em feijão-caupi, com perda de 32 kg ha⁻¹ em função dos diagnósticos produzidos pelo método CND, embora, para o P, a mesma autora tenha encontrado ganho de produtividade de 129 kg ha⁻¹ para diagnósticos feitos pelo mesmo método.

Ao se utilizar como população de referência o conjunto de talhões de maior produtividade, há melhora significativa na razão V/F (Tabela 5), ou seja, há uma crescente proporção entre diagnósticos verdadeiros para deficiência, em relação aos diagnósticos falsos para deficiência, que se explica pela redução de 9 vezes no número de falsas deficiências em relação a uma redução de 2,5 vezes no número de diagnósticos de deficiência verdadeiros. Portanto, este indicador sugere que normas de maior produtividade média seriam as mais indicadas.

Wadt e Lemos (2010) argumentam, todavia, que o maior prejuízo na decisão associada ao manejo da adubação pode estar na falta de indicação de deficiências verdadeiras, fazendo com que não seja aumentada a dose do fertilizante, reduzindo-se, assim, os ganhos de produtividade. Este problema ficou evidente quando se compararam as normas P1 e P5, que resultaram, respectivamente, em 33 e 13 diagnósticos verdadeiros para deficiência, ou seja, o uso da norma P5 deixou de apontar 20 casos de verdadeira deficiência (Tabela 5).

Ainda, os casos de verdadeira suficiência foram pouco afetados, variando de 42 casos para a norma P5 a 37 casos para a norma P1. Portanto, se por um lado o uso de populações de referência de maior produtividade indica melhoria da razão entre casos de verdadeira e falsa deficiência, há também perda considerável do número total de indicações de verdadeira deficiência, resultando em aumento dos casos de falsa suficiência: de 97 para 120 casos em relação às normas P1 e P5, respectivamente.

Esses diferentes desempenhos foram refletidos na maior eficiência para os diagnósticos produzidos com a população de referência com maior número de casos de baixa produtividade (P1), cuja eficiência foi de 40%, comparativamente à norma obtida com os talhões de maior produtividade, cuja eficiência foi de 31% (Tabela 5). Não é surpresa esse resultado, uma vez que, mesmo não sendo adotado pela maioria dos autores que trabalham com essa metodologia, o uso de normas a partir de populações de menor produtividade é uma das recomendações feitas por Beaufils (1973) para a definição da população de referência para o método DRIS.

Assim, com base no rendimento (ganho ou perda) de produtividade e da eficiência dos diagnósticos, recomenda-se o uso de normas com maior conjunto de dados e que incluam produtividades mais baixas. Por outro lado, o uso de normas com produtividades mais elevadas tende a reduzir o número de falsos diagnósticos para deficiência, o que resulta em maior razão V/F.

O desempenho alcançado por qualquer uma das populações de referência, cuja eficiência máxima foi sempre inferior a 50%, representa valores inaceitáveis para qualquer método de diagnóstico (TEIXEIRA et al., 2002). O baixo desempenho indica que mais da metade dos diagnósticos não foram confirmados por respostas da planta à aplicação de fertilizantes (BEVERLY; HALLMARK, 1992).

Assim, é clara a necessidade de melhoria dos procedimentos diagnósticos produzidos pelo método CND antes que este possa vir a ser recomendado para o manejo das adubações, sem prejuízo de que populações de referência mais amplas apresentem importante melhoria no desempenho dos diagnósticos obtidos.

Conclusões

Com base nas populações de referência avaliadas, não foi possível definir o melhor conjunto de normas a partir dos critérios do grau de concordância ou pela análise da dispersão entre a produtividade e os índices IBNm e CND.

A análise da acurácia dos diagnósticos nutricionais para o fósforo 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.

Referências

- BARŁÓG, P. Diagnosis of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Nutrient Imbalance by DRIS and CND-clr Methods at Two Stages during Early Growt. **Journal of Plant Nutrition**, v.39, p.1-16, 2016.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS)**. Bloemfontein: University of Natal, 1973, p. 132.
- BEVERLY, R. B.; HALLMARK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, p. 2633-2640, 1992.
- CAIONE, G.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. L.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Response of Sugarcane in a Red Ultisol to Phosphorus Rates, Phosphorus Sources, and Filter Cake. **Scientific World Journal**, v. 2015, p. 1-10, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1155/2015/405970>>.
- CAMACHO, M. A.; SILVEIRA, M. V. da; CAMARGO, R. A.; NATALE, W. Faixas normais de nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pelo método de distribuição normal reduzida para laranja-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 193-200, 2012.
- DEVI, T. C.; BHARATHALAKSHMI, M.; KUMARI, M. B. G. S.; NAIDU, N. V. Effect of sources and levels of phosphorus with zinc on yield and quality of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 14, p. 195-198, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s12355-012-0144-2>>.
- ESTATCAMP (2014). **Software Action**. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil.
- GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 109-118, 2009.

HERNANDES, A.; SOUZA, H. A.; AMORIM, D. A.; NATALE, W.; LAVRES JR, J.; BOARETTO, A. E.; CAMACHO, M. A. DRIS Norms for Pêra Orange. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 2853-2867, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.956933>>.

HOOGERHEIDE, H. C. **DRIS para avaliação do estado nutricional da soja em duas regiões do cerrado brasileiro**. 2005. 94f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992, p. 124.

MARTINS, R. A. **Acurácia da avaliação do estado nutricional de P e K em caupi**. 2015. 54f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2015.

MODA, L. R.; PRADO, R. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S.; SILVA, E. C.; 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, p. 477-485, 2015.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A. The oretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal American Society Horticultural Science**, v. 117, p. 239-242, 1992.

PÍPERAS, G. V.; CRESTE, J. E.; ECHER, F. E. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 56, p. 818-825, 2009.

QUEIROZ, A. A.; LUZ, J. M. Q.; OLIVEIRA, R. C.; FIGUEIREDO, F. C. Productivity and establishment of DRIS indices for tubers of the potato cultivar 'Agata'. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 351-360, 2014.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 233-239. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

SANTOS, E. F. D.; DONHA, R. M. A.; ARAÚJO, C. M. M.; 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 Ciência do Solo**. v. 37, p. 1651-1658, 2013a.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013b, p. 353.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ENSINAS, S. C.; MORAIS, H. S.; CONRAD, V. A.; GUIMARÃES, F. C. N.; BARBOSA, G. P. O. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to Assess the Nutritional State of Cotton Crop in Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 508-516, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.54065>>.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ROJAS, E. P.; MORAIS, H.S.; CONRAD, V. A.; GUIMARÃES, F. C. N. Estabelecimento de normas DRIS para o algodoeiro com diferentes critérios de seleção da população de referência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 1472-1480, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013001100008>>.

SUMNER, M. E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 8, p. 251-268, 1977.

TEIXEIRA, L. A. J.; SANTOS, W. R.; 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, p. 530-535, 2002.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1421-1428, 2006.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação e Diagnóstico da Composição Nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 63-72, 2007.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 227-234, 2005.

WADT, P. G. S.; LEMOS, C. O. Medidas de acurácia para diagnósticos nutricionais e seu impacto no manejo das adubações. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P. **Nutrição de plantas**: diagnose foliar em hortaliças. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2010. p. 213-236.

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

CAPÍTULO 3: Acurácia do critério de Potencial de Resposta da Planta à Adubação dos diagnósticos nutricionais em cana-de-açúcar

Resumo - O método do Potencial de Resposta da Planta à Adubação (PRA), da forma como vem sendo interpretado, pode resultar em baixa eficiência dos diagnósticos nutricionais. Neste sentido, o objetivo com este trabalho foi validar o critério do PRA e determinar o valor percentual a ser considerado como incremento de produtividade de colmos a partir da acurácia dos diagnósticos nutricionais para P, em cana-de-açúcar, pelo método CND. Para os estudos, utilizaram-se dados coletados em cinco áreas experimentais cultivadas com cana-de-açúcar do primeiro ciclo (safra de 2013), localizadas em três municípios do Estado de São Paulo, Brasil. As variedades de cana-de-açúcar cultivadas foram a CTC 15 e RB 855453. Para gerar o banco de dados, foi considerado o fatorial $3 \times 4 \times 2 \times 2$, sendo três fontes de fósforo, quatro doses de P_2O_5 ; na ausência e na presença de torta de filtro e duas épocas de amostragem foliar, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento. Obtiveram-se o banco de dados a partir da produtividade e dos teores foliares de nutrientes, compostos por população de referência que apresentou produtividades acima de 172 t ha^{-1} . A interpretação dos índices CND foi realizada pelo critério do PRA, com a introdução da variável f , e foi determinada a acurácia, considerando como diagnóstico insuficiente quando a adição de P resultou em aumento acima de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35 e 40% de produtividade, entre a situação-controle e a situação-resposta. O uso do fator $f=0$ no ajuste do IBNm permite a obtenção dos maiores incrementos ou menores perdas de produtividade de colmo da cana-de-açúcar, que corresponde ao abandono da interpretação dos índices nutricionais pelo critério do PRA. O método CND é eficiente na avaliação do estado nutricional de plantas de cana-de-açúcar em relação ao fósforo, aplicado como superfosfato triplo, quando se utilizam como referência aumentos de produtividade de colmo acima de 35 e 40% entre a situação-controle e a situação-resposta.

Palavras-chave: *Saccharum* spp, IBNm, produtividade, fósforo.

Introdução

A adubação fosfatada, no plantio da cana-de-açúcar, assume grande importância para o aumento de produtividade da cana-planta. No entanto, em solos tropicais, submetidos ao intenso intemperismo, a eficiência da adubação fosfatada é baixa e, frequentemente, o fósforo (P) é um dos nutrientes que mais limitam a produção. Diante disso, o monitoramento nutricional da cultura, que pode ser realizado pela diagnose foliar, é indispensável para aumento de produtividade e eficiência das adubações.

A diagnose foliar torna-se apropriada para o monitoramento e avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar, por a cultura ser de ciclo plurianual e poder, no monitoramento nutricional, um indicador apropriado para acompanhar as demandas nutricionais da planta ao longo dos anos de seu cultivo.

Entre os vários métodos disponíveis para interpretar o estado nutricional das culturas, o método da Diagnose da Composição Nutricional (CND) apresenta vantagens sobre os demais métodos, pela sua facilidade de utilização, e conforme destacaram Parent et al. (2013), é um método baseado no balanço de nutrientes cujos índices nutricionais apresentam ortogonalidade do ponto de vista estatístico.

Contudo, aliado ao método de diagnose foliar, há também diferentes critérios de interpretação que podem ser utilizados, o que pode afetar a veracidade dos diagnósticos produzidos. É neste sentido que Wadt et al. (2016) sugerem que seja feita a validação das interpretações do estado nutricional com base na determinação do verdadeiro estado nutricional da planta.

Dentre os procedimentos disponíveis para a validação da interpretação dos diagnósticos nutricionais, há o método proposto por Beverly e Hallmark (1992), denominado “Prescient Diagnostic Analysis”.

Este método sugere que os diagnósticos sejam considerados adequados quando tenham eficiências de, pelo menos, 50%, valor de razão de acurácia (V/F) acima de 1,0 e que apresente elevados incrementos de produtividade calculados com base na resposta esperada a partir dos diagnósticos verdadeiros ou falsos (TEIXEIRA et al., 2002). No entanto, a respeito da medida de acurácia de incremento de produtividade, não existe até o momento um critério para definir o

aumento de produtividade, da situação-controle para a situação-resposta, ao se realizar acurácia dos diagnósticos nutricionais.

No Brasil, para a interpretação dos índices nutricionais obtidos pelo método CND, tem sido largamente utilizado o método do Potencial de Resposta da Planta à Adubação (PRA) (WADT, 2005), sem que tenha sido feita, até o momento, uma adequada validação deste método para a interpretação do estado nutricional das culturas.

Apenas Martins (2015) realizou estudos para avaliar os critérios de interpretação dos índices nutricionais adotados pelo método do PRA, verificando que, apesar da maior eficiência do método do CND em comparação ao nível crítico, ainda assim, constatou-se perda de produtividade de até 40 kg ha⁻¹ ao adotar o PRA para a interpretação do estado nutricional do potássio (K) em feijão-caupi.

Esse resultado aponta para o fato de que o método do PRA, da forma como vem sendo amplamente adotado na literatura, pode resultar em baixa eficiência dos diagnósticos nutricionais, levando à situação de não se recomendar ajustes na adubação de plantas deficientes e, ainda, pode proporcionar baixa eficiência do método CND, diminuindo sua eficiência frente a outros métodos de interpretação do estado nutricional.

Assim, tem-se a hipótese de que o método CND é eficiente na avaliação do estado nutricional das plantas, quando se utilizam fatores de ajustes nos valores do IBNm de menor amplitude na interpretação dos índices nutricionais pelo critério do PRA e que limites de respostas de produtividade de maior rigor permitam maiores incrementos de produtividade em cana-de-açúcar.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi validar o critério do PRA e determinar o valor percentual a ser considerado como incremento de produtividade de colmos, a partir da acurácia dos diagnósticos nutricionais para P em cana-de-açúcar, pelo método CND.

Material e Métodos

Para os estudos, utilizaram-se dados coletados em cinco áreas experimentais cultivadas com cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, na safra de 2013, localizadas em três municípios do Estado de São Paulo, Brasil, sendo duas áreas localizadas em Catanduva (21°05'07"S, 48°54'22"O), duas áreas em Santa Adélia (21°16'49"S, 48°49'38"O) e uma em Santa Albertina (20°02'44"S, 50°37'55"O), que receberam os tratos culturais descritos por Moda et al. (2015) e Caione et al. (2015).

A região de estudo apresenta, pela classificação de Köppen, clima do tipo Aw (tropical chuvoso com inverno seco). Os solos das áreas experimentais foram classificados como Argissolo Vermelho eutrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Catanduva), Latossolo Vermelho distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (Santa Adélia), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Santa Albertina) (SANTOS et al., 2013).

Após o preparo do solo, antecedendo o plantio, realizou-se a amostragem de solo a partir de 20 subamostras, na camada de 0-20 cm de profundidade. De acordo com a análise química, seguindo a metodologia descrita por Raij et al. (2001), os resultados foram: pH (CaCl₂)= 5,5; P (resina)= 5 mg dm⁻³; e saturação por bases de 72% (Catanduva); pH (CaCl₂)= 6,0 e 5,6; P (resina)= 5 mg dm⁻³; e saturação por bases de 65% e 56% (Santa Adélia) e pH (CaCl₂)= 4,6; P (resina)= 4 mg dm⁻³; e saturação por bases de 42% (Santa Albertina). O teor de P foi classificado em todas as áreas experimentais como muito baixo (RAIJ et al., 1997).

As variedades de cana-de-açúcar cultivadas foram a CTC 15, de ciclo médio/tardio (Catanduva e Santa Adélia), e a RB 855453, de ciclo precoce (Santa Adélia e Santa Albertina).

Em todas as áreas, o plantio foi realizado de forma convencional, adotando-se o sistema de cana de ano. As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de cana-de-açúcar, com 15 m de comprimento, distanciadas 1,5 m entre si. Consideraram-se as três linhas centrais úteis para amostragem, descartando-se 1,0 m em cada extremidade.

Para gerar o banco de dados, foi considerado o fatorial 3x4x2x2, sendo três fontes de fósforo (superfosfato triplo, fosfato natural de Araxá, fosfato natural reativo Bayóvar ou fosfato natural reativo Gafsa), quatro doses de P_2O_5 (0; 90; 180 e 360 kg ha⁻¹ de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%), na ausência e na presença de torta de filtro decomposta, na dose de 7,5 t ha⁻¹, em base seca (equivalente a 15 t ha⁻¹, em base úmida), e duas épocas de amostragem foliar (4 e 8 meses após a brotação), em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições por tratamento.

A adubação básica de plantio foi realizada de acordo com Raij e Cantarella (1997), com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K_2O (Catanduva e Santa Adélia) e 80 kg ha⁻¹ de K_2O (Santa Albertina). Aos 40 dias após a brotação, foi realizada a adubação em cobertura à aproximadamente 10 cm da linha de plantio, aplicando-se 50 kg ha⁻¹ de N, conforme indicado por Raij e Cantarella (1997). Como fonte de nitrogênio, utilizou-se o sulfato de amônio, a fonte de potássio o cloreto de potássio.

As amostragens foliares foram realizadas aos quatro e oito meses após a brotação, perfazendo um total de 720 amostras. Na primeira amostragem foliar, aos quatro meses, coletaram-se 15 folhas (terço médio da folha +3, excluindo-se a nervura central), por parcela, para avaliar o estado nutricional da cultura, conforme indicação de Malavolta (1992). Em pleno desenvolvimento da cultura (aos oito meses), foi realizada a segunda amostragem, coletando-se 15 folhas (terço médio da folha +1, excluindo-se a nervura central), por parcela, seguindo indicações de Raij e Cantarella (1997).

Posteriormente, as folhas foram lavadas, secas em estufa por 73 horas a 65°C, moídas em moinho e realizada a análise química dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, de acordo com a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

Os dados de produtividade de colmos foram registrados quando a cana-de-açúcar atingiu o ponto de colheita, aos 12 meses após a brotação, colhidas manualmente, e sem queima, 3 m de cada parcela (1 m em cada linha útil), sendo os colmos pesados, e os valores, expressos em t ha⁻¹ de colmos (MODA et al.,

2015; CAIONE et al., 2015). A população de referência foi representada pelas parcelas experimentais, com produtividades de colmo acima de 172 t ha⁻¹.

A norma CND foi produzida a partir das transformações dos dados originais para g kg⁻¹, para permitir a comparação entre nutrientes de unidades diferentes. Em seguida, foi realizada a exclusão de valores dos teores de nutriente considerados extremos. Deste modo, foram excluídos os valores menores que o teor médio - 2,55 x desvio-padrão e aqueles maiores que o teor médio + 2,55 x desvio-padrão. Os demais valores foram mantidos para a obtenção da norma CND e para a determinação dos índices CND.

A seguir, determinou-se, para cada amostra foliar, o valor R, que corresponde ao complemento da matéria seca para 1.000 g, de acordo com a expressão: $R = 1.000 - (vN + vP + vK + vCa + vMg + vS + vB + vCu + vFe + vMn + vZn)$. Em que: R = complemento da matéria seca para 1.000 g; 1.000 = 100% da matéria seca; vX = teor de cada nutriente em g kg⁻¹, em que X representa cada um dos nutrientes avaliados (N, P, K ...Zn) (PARENT; DAFIR, 1992).

Feito isso, determinou-se a média geométrica (mGeo) dos teores nutricionais em cada amostra, empregando-se a fórmula: $mGeo = (vN \times vP \times vK \times vCa \times vMg \times vS \times vB \times vCu \times vFe \times vMn \times vZn \times R)^{(1/n)}$. Em que: mGeo = raiz de ordem “n” do produto dos teores nutricionais e do valor R; “n” = número de fatores utilizados no cálculo da média geométrica (PARENT; DAFIR, 1992).

Definida a média geométrica, calculou-se a relação multivariada (zX), obtida pelo logaritmo natural do quociente entre os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn e a média geométrica da composição nutricional na amostragem foliar, segundo a expressão: $zX = \ln (vX/mGeo)$, em que vX = teores de cada nutriente expressos em (g kg⁻¹); e mGeo = média geométrica dos nutrientes na amostra (PARENT; DAFIR, 1992).

Por fim, para o conjunto de dados da população de referência acima descrita, foram calculados a média e o desvio-padrão das relações multivariadas para os nutrientes avaliados, os quais se constituíram na norma CND.

O índice CND (I_X) foi obtido utilizando-se a expressão: $I_X = (zX - mX)/sX$. Em que: I_X = índice CND de um nutriente qualquer (X); zX = relação multivariada para esse mesmo nutriente, e mX e sX, respectivamente, a norma

média e a norma desvio-padrão das relações multivariadas do nutriente X (PARENT; DAFIR, 1992).

Posteriormente, calculou-se, o índice de balanço nutricional médio (IBNm), empregando-se a expressão: $IBNm = (|I_N| + |I_P| + |I_K| + |I_{Ca}| + |I_{Mg}| + |I_S| + |I_B| + |I_{Cu}| + |I_{Fe}| + |I_{Mn}| + |I_{Zn}|)/n$, em que IBNm = índice de balanço nutricional médio; $|I_X|$ = módulo dos índices nutricionais CND de cada nutriente, em que X representa cada um dos nutrientes avaliados (N, P, K ...Zn); e n = número de nutrientes avaliados em uma dada planta ou amostra foliar (SUMNER, 1977).

A interpretação do estado nutricional foi realizada pelo critério do PRA (WADT, 2005), adotando-se três classes de interpretação: equilibrado, deficiente e em excesso. O nutriente foi considerado nutricionalmente equilibrado, quando o índice CND, em módulo, foi menor ou igual ao valor determinado pela expressão $f \times IBNm$; deficiente, quando seu índice CND, sendo negativo, foi também, em módulo, maior que o valor determinado pela expressão $f \times IBNm$; em excesso nutricional, quando seu índice CND, sendo positivo, foi, também, em módulo, maior ao valor determinado pela expressão $f \times IBNm$.

A variável f foi introduzida neste trabalho para a interpretação dos índices CND pelo método do PRA, sendo adotados para f os seguintes valores: 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0.

Adotaram-se, também, apenas duas classes de interpretação: deficiente ou adequado, sendo que a classe adequado resultou do agrupamento dos casos considerados, para cada nutriente, como equilibrado e em excesso.

Determinou-se a acurácia do diagnóstico do estado nutricional para o nutriente P, definido por duas classes de interpretação: deficiente e adequado, usando as normas CND geradas neste trabalho.

A acurácia consistiu em determinar se o diagnóstico nutricional obtido por determinado procedimento de interpretação do estado nutricional correspondia à resposta da planta, em termos de variação da produtividade, quando o nutriente avaliado foi adicionado.

Para tanto, os diagnósticos nutricionais foram confrontados com a resposta da planta à doses de fósforo, comparando-se sempre uma situação com ausência

de fósforo (situação-controle) com outro tratamento, onde apenas houve adição de fósforo (situação-resposta), ou tratamento com dose menor de fósforo (situação-controle) com tratamento com dose superior de fósforo (situação-resposta).

As comparações foram realizadas sempre entre tratamentos que não receberam torta de filtro e que usaram como fonte de P o superfosfato triplo. Neste subconjunto de dados, compararam-se os pares de parcelas, de mesmo bloco experimental, e que receberam os mesmos tratamentos, exceto pelas variações nas adubações fosfatadas.

Os diagnósticos da situação-controle foram classificados em deficiência ou adequado, conforme descrito acima, no critério de interpretação dos índices CND pelo método do PRA.

Os diagnósticos da situação-resposta foram classificados como insuficiente e suficiente. Insuficiente quando a adição de P resultou em aumento acima de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35 e 40% de produtividade entre a situação-controle e a situação-resposta. Todos os demais casos foram classificados como suficiente.

Comparando-se os diagnósticos com a resposta das lavouras, obtêm-se quatro possibilidades: deficiência verdadeira (DV), quando há resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura é diagnosticada como deficiente; deficiência falsa (DF), quando não há resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura foi diagnosticada como deficiente; adequado verdadeiro (AV), quando não há resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura é diagnosticada como adequado; adequado falso (AF), quando não houve resposta ao fornecimento de fósforo, e a lavoura foi diagnosticada como deficiente (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição da adequação de diagnósticos nutricionais para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND.

Diagnóstico nutricional	Estado nutricional definido pela resposta à adubação	
	Insuficiente	Suficiente
Deficiente	Verdadeira deficiência (VD)	Falsa deficiência (FD)
Adequado	Falso adequado (FA)	Verdadeiro adequado (VA)

Foram utilizadas três medidas de acurácia propostas por Beverly e Hallmark (1992) para avaliar o desempenho dos diagnósticos nutricionais para P: eficiência, razão para deficiência e rendimento.

A eficiência dos diagnósticos nutricionais foi estimada pela soma dos percentuais de diagnósticos verdadeiros (%VD + %VS). A razão da deficiência foi calculada pela proporção entre diagnósticos de deficiência verdadeira e deficiência falsa (%DV/%DF).

Por fim, o rendimento foi calculado pela contribuição do diagnóstico para o aumento da produtividade, sendo consideradas incremento de rendimento as variações de produtividade resultantes dos diagnósticos de deficiência verdadeira e adequado verdadeira e decréscimos no rendimento, os diagnósticos de deficiência falsa e adequado falso. O rendimento foi então obtido pelo resultado médio dos rendimentos individuais para os casos avaliados (Tabela 2).

Tabela 2. Medidas de acurácia, amplitude esperada e valores aceitáveis para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND (adaptado de Beverly e Hallmark, 1992).

Critério	Cálculo	Amplitude	Valores aceitáveis
Eficiência	(%VD) + (%VS)	0 a 100	> 50
$V \div F$	(%VD) ÷ (%FD)	0 a 100 (Indefinido como % FD = 0)	> 1
$\sum d(Y)$	$\frac{[d(Y) VD] - [d(Y) VS] - [d(Y) FS] + [d(Y) FD]}{[d(Y) FS] + [d(Y) FD]}$	$-\infty$ a $+\infty$	> 0

VD: verdadeira deficiência; VS: verdadeira suficiência; FD: falsa deficiência, e FS: falsa suficiência. [d(Y)VD], [d(Y)VS], [d(Y)FS] e [d(Y)FD]: respostas à aplicação de fertilizantes associadas aos diagnósticos VD, VS, FS e FD, respectivamente.

Os ajustes nos valores do IBNm e a produtividade de colmos foram avaliados por meio de gráficos de dispersão. Em cada caso, realizaram-se testes de correlações de Pearson lineares simples entre as variáveis, utilizando o programa estatístico Action, versão: 3.1 (ESTATCAMP, 2014). Os limites de respostas de produtividade e os incrementos na produção foram representados em gráficos de barra, utilizando-se das planilhas Excel 2003 (Microsoft Office).

Resultados e Discussão

Verificou-se, com o aumento dos fatores de ajuste nos valores do IBNm, perda de produtividade de colmos nas situações testadas, que se explica pelas altas correlações negativas entre a produtividade de colmos dos talhões e os ajustes nos valores do IBNm. Entretanto, à medida que os limites-resposta de produtividade foram mais rigorosos, as correlações entre as variáveis foram diminuindo até o limite-resposta de 25%. A partir do limite de 30%, não houve correlação entre as variáveis (Figuras 1 e 2).

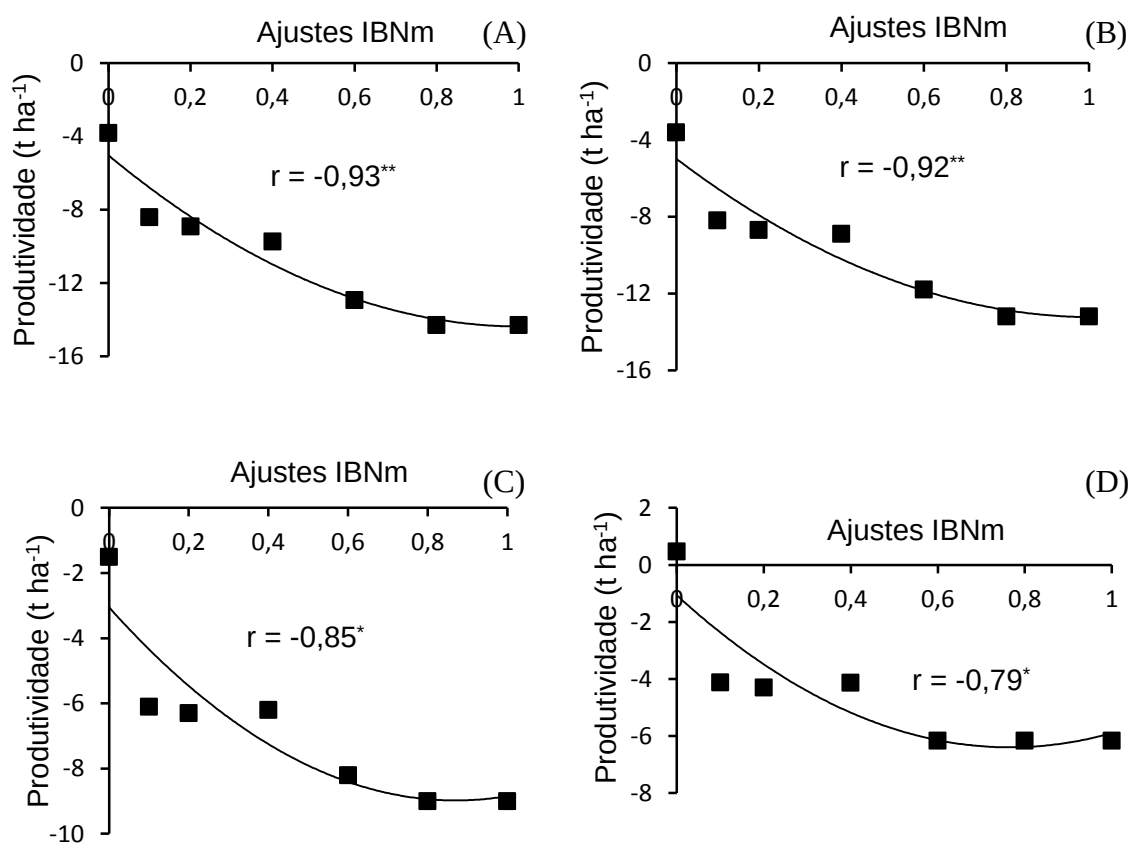


Figura 1. Incrementos de produtividade de colmo para fósforo com aplicação de superfosfato triplo, em função de ajustes nos valores do IBNm e admitindo-se incremento de produtividade de colmo acima de 5 (A), 10 (B), 15 (C) e 20% (D) para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND. **, * significativo a 1 e 5 % de probabilidade, pelo teste F.

As menores perdas de produtividade de colmo foram registradas com a utilização do fator $f=0$ para os limites-respostas de produtividade de até 15% e 25% (Figuras 1A, 1B, 1C e 2A), e os maiores rendimentos foram alcançados nos limites-respostas de 20% e acima de 30% (Figuras 1D, 2B, 2C e 2D). Resultado semelhante foi obtido por Martins (2015), em feijão-caupi, nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, que observou maiores incrementos de produtividade quando se utilizou o fator $f=0$ como ajuste no valor do IBNm.

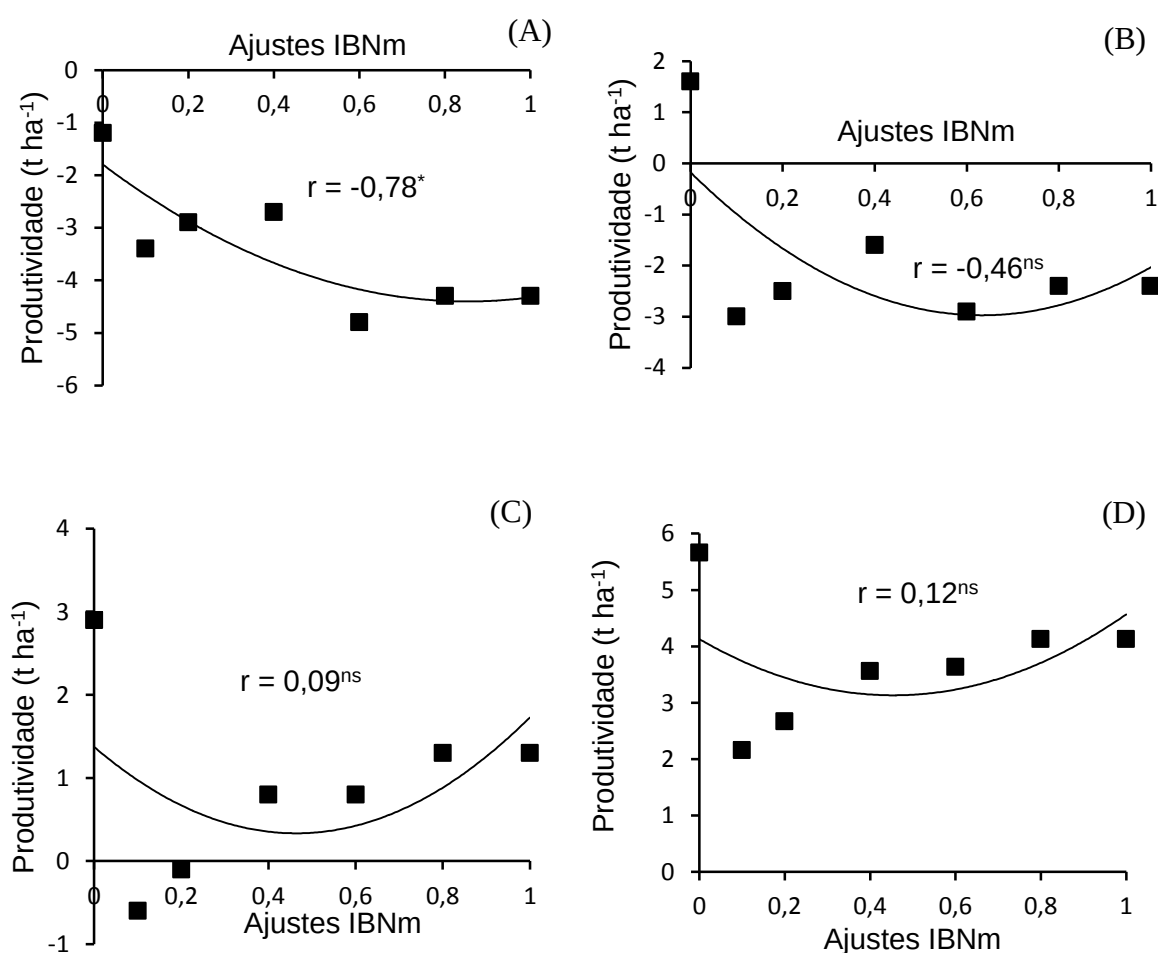


Figura 2. Incrementos de produtividade de colmo para fósforo com aplicação de superfosfato triplo, em função de ajustes nos valores do IBNm e admitindo-se incremento de produtividade de colmo acima de 25 (A), 30 (B), 35 (C) e 40% (D) para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND. ^{ns} não significativo, * significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste F.

Estes resultados apontam que o método do PRA pode resultar em baixa eficiência dos diagnósticos nutricionais, uma vez que o fator=0 corresponde ao abandono deste critério de interpretação do estado nutricional. Ainda, o método do PRA pode proporcionar baixa eficiência do método CND, diminuindo sua vantagem frente a outros métodos de interpretação do estado nutricional.

Avaliando-se o incremento de produtividade apenas em relação aos limites-resposta de rendimentos estabelecidos, observa-se que foram positivos apenas nas situações de respostas acima de 35 e 40% de aumento, em relação ao tratamento-controle (Figura 3).

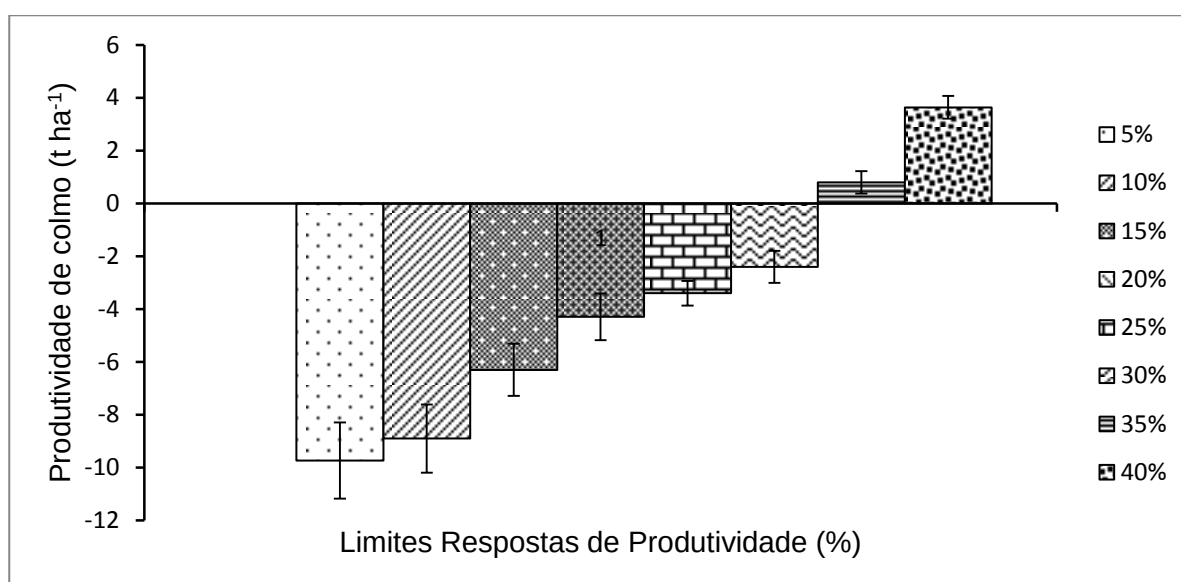


Figura 3. Incrementos de produtividade de colmo para fósforo com aplicação de superfosfato triplo, em cana-de-açúcar, admitindo-se limites-resposta de produtividade acima de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35 e 40% para avaliação do estado nutricional pelo método CND.

Este resultado pode indicar baixa sensibilidade do método CND em realizar ajustes finos no estado nutricional; ou, ainda, que o método CND é mais eficiente apenas quando se buscam maiores ganhos de produtividade. Para a cana-de-açúcar, esse resultado torna-se relevante, visto que os custos de produção com a cultura são elevados, principalmente em relação ao consumo de fertilizantes, especialmente fertilizante fosfatado, dado o baixo teor de fósforo disponível em

solos tropicais. Nesse sentido, busca-se alto retorno econômico da cultura com elevados ganhos de produtividade ao se corrigir deficiências nutricionais.

Outra medida de acurácia utilizada para avaliar o desempenho dos diagnósticos nutricionais para P foi a razão de acurácia para deficiência, em que as maiores razões (V/F) foram observadas quando utilizados os fatores $f=0,8$ e $1,0$, independentemente do limite-resposta de produtividade, que se explica pelo menor número de casos de deficiência falsa com a utilização desses fatores de ajuste no valor do IBNm (Tabelas 3, 4, 5 e 6). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Martins (2015), que constatou maiores razões (V/F) quando foi utilizado o fato $f=1,0$ para diagnóstico nutricional, para o nutriente P, e fator de $f=0,75$ para diagnóstico nutricional, para o nutriente K.

Tabela 3. Medidas de acurácia para o P na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND, em função de ajustes nos valores do IBNm e admitindo-se incrementos de produtividade de colmo acima de 5 e 10%.

Fatores	Diagnósticos				Eficiências	Razão (V/F)
	V(D)	V(S)	F(D)	F(S)		
					-----%	-----
				5%		
0,0	43	37	23	73	44	187
0,1	38	40	20	78	43	190
0,2	36	40	20	80	42	180
0,4	30	46	14	86	42	214
0,6	23	49	11	93	40	209
0,8	17	55	5	99	40	340
1,0	17	55	5	99	40	340
Média	29	46	14	87	42	237
				10%		
0,0	39	43	27	67	46	144
0,1	34	46	24	72	44	142
0,2	32	46	24	74	43	133
0,4	28	54	16	78	46	175
0,6	22	58	12	84	44	183
0,8	16	64	6	90	44	267
1,0	16	64	6	90	44	267
Média	27	54	16	79	44	187

V(D) (verdadeira deficiência); V(S) (verdadeira suficiência); F(D) (falsa deficiência), e F(S) (falsa suficiência).

Para essa medida de acurácia, os resultados indicam que o método do PRA, da forma como vem sendo adotado na literatura, pode resultar em alta porcentagem de diagnósticos de verdadeira deficiência, em comparação à falsa deficiência, em que o uso de fator $f=1,0$ corresponde à utilização do método do PRA em sua forma original.

Tabela 4. Medidas de acurácia para o P na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND, em função de ajustes nos valores do IBNm e admitindo-se incrementos de produtividade de colmo acima de 15 e 20%.

Fatores	Diagnósticos				Eficiências	Razão (V/F)
	V(D)	V(S)	F(D)	F(S)		
-----%						
15%						
0,0	33	59	33	51	51	100
0,1	28	62	30	56	50	93
0,2	27	63	29	57	50	93
0,4	24	72	20	60	53	120
0,6	19	77	15	65	53	127
0,8	14	84	8	70	54	175
1,0	14	84	8	70	54	175
Média	23	72	20	61	52	175
20%						
0,0	31	69	35	41	56	89
0,1	26	72	32	46	54	81
0,2	25	73	31	47	54	81
0,4	22	82	22	50	58	100
0,6	17	87	17	55	58	100
0,8	13	95	9	59	60	144
1,0	13	95	9	59	60	144
Média	21	82	22	51	57	106

V(D) (verdadeira deficiência); V(S) (verdadeira suficiência); F(D) (falsa deficiência), e F(S) (falsa suficiência).

Em relação aos limites-resposta de produtividade, houve melhora significativa na razão de acurácia (V/F) até o limite-resposta de 20% (Tabelas 3 e 4). Acima do limite de 25%, foram observados valores de razão de acurácia (V/F) inferiores ao valor 1,0 ou a valores percentuais de 100% (Tabelas 5 e 6). De acordo com Wadt et al. (2016), o valor de razão de acurácia (V/F) desejável é acima de 1,0, e, portanto, os valores obtidos, acima do limite de 25% (Tabelas 5 e 6), indicam maior número de casos de deficiência falsa, resultando em aplicação desnecessária de fertilizantes e, conseqüentemente, em perda econômica e possível degradação ambiental (BEVERLY, 1993).

Tabela 5 Medidas de acurácia para o P na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND, em função de ajustes nos valores do IBNm e admitindo-se incrementos de produtividade de colmo acima de 25 e 30%.

Fatores	Diagnósticos				Eficiências	Razão (V/F)
	V(D)	V(S)	F(D)	F(S)		
					-----%	-----
					25%	
0,0	29	73	37	37	57	78
0,1	24	76	34	42	56	71
0,2	24	78	32	42	57	75
0,4	21	87	23	45	60	91
0,6	16	92	18	50	60	89
0,8	13	101	9	53	63	144
1,0	13	101	9	53	63	144
Média	20	87	23	46	59	99
					30%	
0,0	26	76	40	34	57	65
0,1	21	79	37	39	56	57
0,2	21	81	35	39	57	60
0,4	19	91	25	41	61	76
0,6	15	97	19	45	62	79
0,8	12	106	10	48	66	120
1,0	12	106	10	48	66	120
Média	18	91	25	42	61	82

V(D) (verdadeira deficiência); V(S) (verdadeira suficiência); F(D) (falsa deficiência), e F(S) (falsa suficiência).

Quanto à eficiência dos diagnósticos nutricionais, houve valores percentuais inferiores a 50%, independentemente do fator de ajuste utilizado, quando considerado limites-resposta de até 10% (Tabela 3), que representam valores inaceitáveis para qualquer método de diagnóstico nutricional (TEIXEIRA et al., 2002). O baixo desempenho indica que mais da metade dos diagnósticos não foram confirmados por respostas da planta à aplicação de fertilizante, o que significa recomendação de adubação abaixo da real necessidade das culturas, ocasionando perdas de produtividade (BEVERLY; HALLMARK, 1992) o que sugere o abandono de limites-resposta de produtividade de menor rigor para avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar.

Tabela 6. Medidas de acurácia para o P na avaliação do estado nutricional da cana-de-açúcar pelo método CND, em função de ajustes nos valores do IBNm e admitindo-se incrementos de produtividade de colmo acima de 35 e 40%.

Fatores	Diagnósticos				Eficiências -----%	Razão (V/F) -----
	V(D)	V(S)	F(D)	F(S)		
35%						
0,0	21	83	45	27	58	47
0,1	17	87	41	31	58	41
0,2	17	89	39	31	59	44
0,4	15	99	29	33	63	52
0,6	12	106	22	36	66	55
0,8	9	115	13	39	69	69
1,0	9	115	13	39	69	69
Média	14	99	29	34	63	54
40%						
0,0	21	87	45	23	60	47
0,1	17	91	41	27	60	41
0,2	17	93	39	27	61	44
0,4	15	103	29	29	66	52
0,6	12	110	22	32	68	55
0,8	9	119	13	35	71	69
1,0	9	119	13	35	71	69
Média	14	103	29	30	65	54

V(D) (verdadeira deficiência); V(S) (verdadeira suficiência); F(D) (falsa deficiência), e F(S) (falsa suficiência).

Acrescenta-se, ainda, que quando considerado limites-respostas acima de 15%, observaram-se valores percentuais de eficiências superiores a 50%, com aumento à medida que se usou maior rigor no incremento de produtividade e o uso dos fatores $f=0,8$ e $1,0$ proporcionou as maiores eficiências em comparação aos outros fatores (Tabelas 4, 5 e 6), que alcançaram valores percentuais de eficiência superiores a 70% no limite de respostas de 40% (Tabela 6).

Este resultado explica-se pelas maiores situações de suficiência verdadeira, quando adotados os fatores $f=0,8$ e $1,0$ (Tabelas 3, 4, 5 e 6), o que indica que mais da metade dos diagnósticos foram confirmados por respostas da planta à aplicação de fertilizante e de acordo com Wadt et al. (2016), porcentagens de eficiência acima de 70% são altamente desejáveis.

Conclusões

O uso do fator $f=0$ no ajuste do IBNm permite a obtenção dos maiores incrementos ou menores perdas de produtividade de colmo da cana-de-açúcar, que corresponde ao abandono da interpretação dos índices nutricionais pelo critério do PRA.

O método CND é eficiente na avaliação do estado nutricional de plantas de cana-de-açúcar, em relação ao fósforo, aplicado como superfosfato triplo, quando se utilizam como referência aumentos de produtividade de colmo acima de 35 e 40% entre a situação-controle e a situação-resposta.

Referências

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BEVERLY, R. B. DRIS Diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, p. 1.431-1.447, 1993.

BEVERLY, R. B.; HALLMARK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, p. 2633-2640, 1992.

CAIONE, G.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. L.; PIZAULO JÚNIOR, J. M. Response of Sugarcane in a Red Ultisol to Phosphorus Rates, Phosphorus Sources, and Filter Cake. **Scientific World Journal**, v. 2015, p. 1-10, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2015/405970>>.

ESTATCAMP (2014). **Software Action**. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992, p. 124.

MARTINS, R. A. **Acurácia da avaliação do estado nutricional de P e K em caupi**. 2015. 54f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2015.

MODA, L. R.; PRADO, R. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S.; SILVA, E. C.; 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, p. 477-485, 2015.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A. The oretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal American Society Horticultural Science**, v. 117, p. 239-242, 1992.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J.; ROZANE, D. E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; GENTILE, V. H.; NAESS, K.; MARCHAND, S.; LAFOND, J.; MATTOS JUNIOR, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-10, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/0.3389/fpls.2013.00039>>.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 233-239. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013, p. 353.

SUMNER, M. E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 8, p. 251-268, 1977.

TEIXEIRA, L. A. J.; SANTOS, W. R.; 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, p. 530-535, 2002.

WADT, P. G. S.; TRASPADINI, E. I. F.; MARTINS, R. A.; MELLO, F. B.; OLIVEIRA, I. J.; RODRIGUES, J. E. L. F.; BASTO, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. Medidas de Acurácia na Qualificação dos Diagnósticos Nutricionais: Teoria e Prática. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2016, p.373-392.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee plantations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 227-234, 2005.