

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

**DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL  
DO MILHO-DOCE**

**Natalia Barreto Meneses  
Engenheira Agrônoma**

**2017**

**T  
E  
S  
E  
/  
M  
E  
N  
E  
S  
S  
E  
S  
N.  
B.  
2  
0  
1  
7**

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

**DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL  
DO MILHO-DOCE**

**Natalia Barreto Meneses**

**Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho**

**Coorientador: Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane**

**Coorientador: Prof. Dr. Léon-Etienne Parent**

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

**2017**

M543d Meneses, Natalia Barreto  
Diagnóstico do estado nutricional do milho-doce / Natalia Barreto  
Meneses. -- Jaboticabal, 2017  
xvii, 88 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017  
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho  
Coorientadores: Danilo Eduardo Rozane, Leon-Etienne Parent  
Banca examinadora: Juan Waldir Mendoza Cortez, Renato de Mello Prado, Roberto Botelho Ferraz Branco, José Carlos Barbosa  
Bibliografia

1. Composição nutricional. 2. Diagnose foliar. 3. *Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811:633.15

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DO MILHO-DOCE

AUTORA: NATALIA BARRETO MENESES

ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

COORIENTADOR: LEON-ÉTIENNE PARENT

COORIENTADOR: DANILO EDUARDO ROZANE

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

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO  
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. JUAN WALDIR MENDOZA CORTEZ  
Facultad de Agronomía / Universidad Nacional Agraria La Molina / Peru

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

Pesquisador Dr. ROBERTO BOTELHO FERRAZ BRANCO  
APTA - Polo Regional do Centro Leste / Ribeirão Preto/SP

Prof. Dr. JOSÉ CARLOS BARBOSA  
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 18 de dezembro de 2017

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**NATALIA BARRETO MENESES** - filha de *Jivaldo Cruz de Meneses* e *Gilvana Barroso Barreto*, nascida aos 17 de julho de 1990, natural de Aracaju, Estado de Sergipe, Brasil. cursou o ensino fundamental e médio no “Grêmio Escolar Graccho Cardoso”. Em março de 2008 ingressou no curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Federal de Sergipe (UFS), Câmpus de São Cristovão. Como aluna de graduação foi bolsista de iniciação científica dos projetos intitulados “*Lógicas produtivas e estratégias de reprodução social: O caso do assentamento Caio Prado*” sob orientação da Profa. Dra. Maria Lúcia da Silva Sodré e “*Maximização na produção de mudas e épocas de colheitas do inhame*” e “*Produção de alface americana em diferentes coberturas do solo*” sob orientação da Profa. Dra. Maria Aparecida Moreira. Estagiou durante os anos de 2010 e 2011 no projeto “*Pequeno Produtor, Grande Empreendedor: Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis para Produção de Olerícolas no Município de Itabaiana (Sergipe, Brasil)*”. Ingressou no curso de Pós-graduação em Agronomia - Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) - em março de 2013, pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, de Jaboticabal (UNESP/FCAV), sendo bolsista da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), obtendo o título de Mestre em julho de 2014, com a dissertação intitulada “*Marcha de acúmulo de matéria-seca e de nutrientes pelo milho superdoce*”, sob orientação do Professor Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho. Em agosto de 2014 iniciou o curso de doutorado, no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela mesma instituição e também como bolsista da CAPES e sob orientação do Professor Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho.

**“Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes,  
recatados e despidos de orgulho.”**

**(Dalai Lama)**

Algumas pessoas marcam a nossa vida, deixam mensagens que nunca se apagam das nossas mentes, que se tornam aprendizados que levamos para sempre conosco. E nem sempre é por meio das palavras que aprendemos. Ética, profissionalismo, amizade e humildade são atitudes e qualidades que se veem nas ações, e que ficam de exemplo e inspiração. Dedico este trabalho a quem admiro profundamente e muito contribuiu para minha formação pessoal e profissional, ao Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho.



## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta tese marca o fim de uma importante etapa. Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram de forma decisiva para a sua concretização.

A minha grande família. Em especial ao meu PAI e minha MÃE, meus heróis, muitíssimo obrigado pelo amor incondicional, pelo carinho, pelo apoio, pelo investimento, pelo exemplo de pessoas honestas e trabalhadoras que são. Aos meus irmãos Leo, Rafael e Lissa, meus amigos especiais, que me ajudaram a ser quem sou, que depositam confiança em mim e para os quais sou uma esperança, resta-me afincadamente não vos desiludir. Amo muito vocês!

Ao meu orientador Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pessoa inteligente, responsável e justa, sempre disposto a apoiar e orientar pessoal e profissionalmente. Quero agradecer pela paciência, pelas sugestões, compreensão, amizade e auxílio para a conclusão dessa etapa.

Agradeço ao coorientador Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane, sempre solícito, com quem aprendi muito e que contribuiu profundamente neste trabalho.

Ao coorientador Prof. Dr. Léon-Etienne Parent, da Universidade de Laval pelos ensinamentos.

Aos docentes do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da FCAV/UNESP pela importante contribuição em meu crescimento científico.

Aos funcionários UNESP/FCAV, em especial ao Inauro, Cláudio e Reinaldo da Fazenda de Ensino e Pesquisa da FCAV, a Rosane do Departamento de Produção Vegetal – Horticultura e aos motoristas da instituição pela amizade e apoio na condução dos trabalhos de campo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

A indústria Predilecta pelo auxílio e apoio concedido, que foi de fundamental importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus queridos amigos da pós-graduação Tatiana Pagan Loeiro da Cunha, Rodrigo Hiyoshi Dalmazzo Nowaki, Leonardo Correia Costa, Víctor Manuel Vergara Carmona, Juan Waldir Mendoza Cortez, Alexson Filgueiras Dutra, Rodolfo Gustavo Teixeira Ribas e Juciléia Irian dos Santos, que estiveram presentes durante essa jornada, com quem tive a honra de conviver e compartilhar bons momentos.

Agradeço a todos que passaram pelo meu caminho em Jaboticabal e que com certeza deixaram um pouco de si, em especial a Nathalia Gioria, Caroline Ribeiro, Priscila Porto pela forma amável, aberta e atenciosa como fui recebida. A Tiago Barbalho, meu parceiro, agradeço o incentivo, carinho e apoio nos momentos de fragilidade.

À Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - FCAV/UNESP, pelos ensinamentos oferecidos e pela oportunidade de realização do curso; e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram ou participaram desse trabalho, que se finda com a elaboração da presente tese.

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xviii
<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	1
<b>1 Introdução</b> .....	1
<b>2 Hipóteses</b> .....	1
<b>3 Objetivos</b> .....	2
<b>4 Revisão de literatura</b> .....	2
4.1 A cultura do milho-doce.....	2
4.2 Nutrição do milho-doce.....	3
4.3 Avaliação do estado nutricional.....	6
4.4 Teor crítico e faixas de suficiência.....	8
4.5 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS - Diagnosis and Recommendation Integrated System).....	10
4.6 Diagnose da Composição Nutricional (CND – Compositional Nutrient Diagnosis).....	12
<b>5 Referências</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 2 – NORMAS DRIS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO MILHO-DOCE</b> .....	22
<b>1 Introdução</b> .....	22
<b>2 Material e Métodos</b> .....	23
<b>3 Resultados e Discussão</b> .....	28

4 Conclusão.....	38
5 Referências.....	39
<b>CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO MILHO-DOCE PELO MÉTODO CND-<i>clr</i>.....</b>	<b>43</b>
1 Introdução.....	43
2 Material e Métodos.....	44
3 Resultados e Discussão.....	49
4 Conclusão.....	59
5 Referências.....	60
<b>CAPÍTULO 4 - MÉTODO CND-<i>ilr</i> NA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO MILHO-DOCE.....</b>	<b>64</b>
1 Introdução.....	64
2 Material e Métodos.....	66
3 Resultados e Discussão.....	73
4 Conclusão.....	82
5 Referências.....	82

## DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DO MILHO-DOCE

**RESUMO** – O Brasil apresenta elevado potencial para a produção de milho-doce, voltada principalmente ao processamento industrial. Uma alternativa para aprimorar o manejo das adubações consiste na diagnose do estado nutricional dos campos de produção, através da análise foliar. Acredita-se que a elaboração e utilização de metodologias mais modernas para a diagnose foliar da cultura do milho-doce, como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND), abordagem CND-*clr* (relação log centralizada) e CND-*ilr* (relação log isométrica) permitam gerar melhores diagnósticos nutricionais. Portanto, neste trabalho, objetivou-se obter as normas e as faixas de suficiência para cultura de milho-doce a partir dos métodos diagnósticos DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*. Os métodos diagnósticos DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr*, avaliados individualmente, apresentaram bons desempenhos, quanto aos parâmetros de calibração, para a avaliação do estado nutricional do milho-doce. Conclui-se que as metodologias bivariada (DRIS) e multivariada (CND-*clr* e CND-*ilr*) contribuem com informações melhores para o manejo adequado da nutrição da cultura de milho-doce.

**Palavra-chave:** Composição nutricional, diagnose foliar, *Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*

## DIAGNOSTIC OF NUTRITIONAL STATUS OF SWEET CORN

**ABSTRACT** – Brazil has high potential for the production of sweet corn, focused mainly on industrial processing. An alternative to improve the management of fertilization is to diagnose the nutritional status of the fields of production through leaf analysis. It is believed that the elaboration and use of more modern methodologies for leaf diagnosis of sweet corn, such as the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) and Compositional Nutrient Diagnosis (CND), CND-*clr* (log centralized) and CND-*ilr* (isometric log ratio) allow to generate better nutritional diagnoses. Therefore, the objective of this work was to obtain the standards and sufficiency ranges for sweet corn culture from diagnostic methods DRIS, CND-*clr* and CND-*ilr*. The diagnostic methods DRIS, CND-*clr* and CND-*ilr*, individually evaluated, presented good performance in terms of calibration parameters for the nutritional status of sweet corn. It is concluded that the bivariate (DRIS) and multivariate methodologies (CND-*clr* and CND-*ilr*) contribute with better information for the proper management of the nutrition of the sweet corn crop.

**Keywords:** Nutritional composition, leaf analysis, *Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 2</b> .....	22
<b>TABELA 1.</b> Localidades e dados climáticos (1971-2014) da origem das amostras.... .....	24
<b>TABELA 2.</b> Teores mínimo e máximo, desvio-padrão ( $\sigma$ ) e coeficientes de variação (CV, %) dos teores de nutrientes na matéria seca das amostras foliares e produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ), obtidos nas 161 áreas de milho-doce de baixa e alta produtividade .....	28
<b>TABELA 3.</b> Normas DRIS obtidas dos logaritmos das relações, entre os teores de dois nutrientes, na matéria seca das amostras foliares obtidas da população de alta produtividade de milho-doce.....	29
<b>TABELA 4.</b> Frequência observada (FO) dos nutrientes, pelo potencial de resposta à adubação (PRA) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) calculado, para as populações de baixa e alta produtividade de milho-doce.....	30
<b>TABELA 5.</b> Agrupamento, em porcentagem, do potencial de resposta da cultura à adubação para a população de baixa produtividade de milho-doce....	32
<b>TABELA 6.</b> Porcentagem dos casos identificados de diagnósticos verdadeiros para deficiência ( $V_{DEF}$ ) e suficiência ( $V_{SUF}$ ), e de falsos diagnósticos para deficiência ( $F_{DEF}$ ) e suficiência ( $F_{SUF}$ ); acurácia; razão de deficiência (RD); acurácia para deficiência (AccDef) e para suficiência (AccSuf); razão de eficiência (RE) e produtividade média ( $t\ ha^{-1}$ ), obtidos pelo método DRIS nos diagnósticos do P foliar no milho-doce.....	35
<b>TABELA 7.</b> Modelos estatísticos das relações entre os teores de nutrientes e os índices DRIS para macronutrientes e micronutrientes na matéria seca foliar de milho-doce.....	36
<b>TABELA 8.</b> Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o milho-grão maduro e milho-doce, em função da folha diagnóstica, pelo método da Faixa de Suficiência .....	37

<b>CAPÍTULO 3</b> .....	43
<b>TABELA 1.</b> Localidades e dados climáticos (1971-2014) da origem das amostras... .....	45
<b>TABELA 2.</b> Teores mínimo, máximo, desvio-padrão ( $\sigma$ ) e coeficientes de variação (CV, %) dos teores de nutrientes da matéria seca das amostras foliares e produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) obtidos nas 152 áreas de milho-doce de baixa e alta produtividade.....	51
<b>TABELA 3.</b> Normas CND- <i>clr</i> obtidas das variáveis multinutrientes e média geométrica dos constituintes das matérias secas (G) das amostras foliares obtidas da subpopulação de alta produtividade (população de referência) de milho-doce.....	53
<b>TABELA 4.</b> Porcentagem dos casos identificados de diagnósticos verdadeiros para deficiência ( $V_{DEF}$ ) e suficiência ( $V_{SUF}$ ), e de falsos diagnósticos para deficiência ( $F_{DEF}$ ) e suficiência ( $F_{SUF}$ ); acurácia; razão de deficiência (RD); acurácia para deficiência (AccDef) e para suficiência (AccSuf); razão de eficiência (RE) e produtividade média ( $t\ ha^{-1}$ ), obtidos pelo método CND- <i>clr</i> nos diagnósticos do P foliar no milho-doce.....	54
<b>TABELA 5.</b> Modelos estatísticos das relações entre os teores de nutrientes e os índices CND- <i>clr</i> para macronutrientes e micronutrientes na matéria seca foliar de milho-doce.....	57
<b>TABELA 6.</b> Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o milho-grão maduro e milho-doce, em função da folha diagnóstica, pelo método da Faixa de Suficiência.....	58
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	64
<b>TABELA 1.</b> Localidades e dados climáticos (1971-2014) da origem das amostras... .....	66
<b>TABELA 2.</b> Detalhamento da partição binária sequencial (PBS) para os dados de milho-doce.....	70



<b>TABELA 3.</b> Detalhamento da divisão das amostras de milho-doce dentro dos quadrantes VN (verdadeiro negativo), FP (falso positivo), FN (falso negativo) e VP (verdadeiro positivo) .....	77
<b>TABELA 4.</b> Normas, médias ( $\bar{x}$ ) e desvios-padrão ( $\sigma$ ), das coordenadas CND- <i>ilr</i> a partir das concentrações de nutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	78
<b>TABELA 5.</b> Análise estatística comparando as concentrações médias dos nutrientes, <i>Fv</i> e a produtividade (PT) do grupo VN aos demais grupos (FN, FP e VP).....	79
<b>TABELA 6.</b> Intervalo de confiança das concentrações dos nutrientes obtidos a partir da retransformação das coordenadas CND- <i>ilr</i> , das amostras dos grupos VN, em milho-doce.....	80
<b>TABELA 7.</b> Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o milho-grão maduro e milho-doce, em função da folha diagnóstica, pelo método da Faixa de Suficiência... ..	81

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO 3</b> .....	43
<b>FIGURA 1.</b> Função cumulativa do banco de dados da cultura do milho-doce (n=152).....	50
<b>FIGURA 2.</b> Índice geral de equilíbrio (CND-r <sup>2</sup> ) e Distância de Mahalanobis (DM) da população de alta produtividade (n=62).....	52
<b>FIGURA 3.</b> Médias dos índices nutricionais para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, que comprometeram o equilíbrio nutricional do milho-doce na população de baixa produtividade. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente.....	56
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	64
<b>FIGURA 1.</b> Correlação entre a Distância de Mahalanobis CND- <i>ilr</i> e a Distância de Mahalanobis Conc. Ln.....	74
<b>FIGURA 2.</b> Partição de Cate-Nelson para os dados de análise foliar de milho-doce (167 amostras). VN = verdadeiro negativo; FP = falso positivo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo. Acurácia = 70%, Sensibilidade = 95%, Especificidade = 45%, NPV = 91%, PPV = 61%.....	75

## CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1 INTRODUÇÃO

O milho-doce (*Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*) é uma hortaliça de elevada importância econômica no mundo. No Brasil, seu cultivo vem expandindo-se a cada ano, por sua melhor palatabilidade e maior valor agregado, inserindo-se como uma alternativa rentável ao agricultor. Com sua produção voltada, sobretudo, ao processamento industrial, os produtores necessitam atingir, além de altas produtividades, o padrão de espigas requerido pelas indústrias processadoras.

Apesar do elevado potencial de produção e exportação, a cultura é carente de informações técnicas que auxiliem no manejo da adubação e nutrição mineral, visando alta produtividade da cultura, alto rendimento industrial e baixo impacto ambiental por conta da fertilização. Muitas destas informações são trazidas da cultura de milho para grão maduro. Uma alternativa para aprimorar o manejo das adubações do milho-doce consiste em avaliar o estado nutricional dos campos de produção, através da diagnose foliar. Neste sentido, a possibilidade de se aprimorar os padrões nutricionais para o milho-doce é particularmente importante, pois permite inserir a análise foliar como ferramenta decisiva no manejo da adubação e da fertilidade do solo.

Dentre as ferramentas para avaliar o estado nutricional de plantas, o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), método bivariado, idealizado por Beaufils (1973), e o método multivariado, Diagnose da Composição Nutricional (CND), idealizado por Parent e Dafir (1992), foram desenvolvidos para melhorar o diagnóstico nutricional, considerando relações entre os nutrientes.

### 2 HIPÓTESES

- a) O estabelecimento de normas DRIS torna possível avaliar o estado nutricional do milho-doce;
- b) O estabelecimento de normas CND-clr e CND-Ilr são eficientes na avaliação do estado nutricional do milho-doce;

- c) A distância de Mahalanobis (DM), segundo as coordenadas CND-*ilr*, e juntamente com a partição de Cate-Nelson, é possível discriminar amostras em equilíbrio e em desequilíbrio nutricional, em situações de alta e baixa produtividade.

### **3 OBJETIVOS**

Obter faixas de suficiência e normas DRIS, CND-*clr* e CND-*ilr* para avaliação do estado nutricional do milho-doce e identificar a eficiência dos diagnósticos através do método da Acurácia e Cate-Nelson.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 A cultura do milho-doce**

O milho-doce (*Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*) é uma hortaliça de importância econômica mundial. Seu cultivo vem expandindo-se a cada ano e insere-se como alternativa rentável ao agricultor, pelo preço diferenciado em relação ao milho-grão maduro, atribuído ao seu uso exclusivo para consumo humano.

Em relação à produção mundial do milho-doce, de acordo com a FAO (2016), no ano de 2013 foram produzidas 9.776.132 toneladas de espigas em 1.104.211 hectares, com produtividade média de 8,85 t ha<sup>-1</sup>, sendo os principais países produtores os Estados Unidos de América, Nigéria, México, Hungria e Indonésia (FAO, 2016).

No Brasil, diferentemente do milho-grão maduro, ainda não existe dados anuais sobre a produção de milho-doce, sendo que nos censos agropecuários as informações da espécie hortícola do milho-verde são obtidas juntamente com as de milho-doce. Nesse sentido, segundo o IBGE (2016), no ano 2006, foram produzidos 281.265 toneladas de espigas de milho-verde em 42.362 hectares, principalmente em Goiás, Minas Gerais e São Paulo.

Embora o sistema de produção do milho-doce seja semelhante ao milho-grão maduro, fatores como cultivar, demanda nutricional, densidade de plantas e ponto de

colheita os diferenciam, conforme diversos trabalhos encontrados na literatura (DUARTE et al., 2003; HECKMAN, 2007; PINHO et al., 2009; HART et al., 2010 e HIRZEL; UNDURRAGA, 2013). Contudo, diferentemente do milho-grão maduro, o milho-doce enfrenta escassez de informações técnicas (CRUZ et al., 2015), apesar do elevado potencial para produção e exportação.

Considerado um tipo especial, o milho-doce é resultado de mutação espontânea do convencional (BHATT et al., 2012). A presença de alelos mutantes bloqueiam a conversão de açúcares em amido no endosperma dos grãos, conferindo alto teor de açúcares e baixo teor de amido (ZUCHARELLI et al., 2012), caracterizando o sabor adocicado dos grãos. Por sua maior palatabilidade, alto valor agregado e processamento industrial, acredita-se no crescimento do mercado consumidor (BRITO et al., 2013).

Com sua produção voltada, sobretudo, ao processamento industrial, os produtores necessitam atingir o padrão de espigas requerido pelas indústrias processadoras. São desejáveis espigas bem granadas, com maior massa, maiores que 15 cm de comprimento e de 3 cm de diâmetro (ALBUQUERQUE et al., 2008), características que aumentam a eficiência das máquinas industriais degranadoras. Para se atingir o padrão industrial de espigas, exigidos pelas indústrias, um bom manejo da adubação e nutrição mineral é necessário (SOUZA et al., 2013).

#### **4.2 Nutrição do milho-doce**

Em razão da crescente demanda da indústria (OKUMURA et al., 2013) e ao uso da irrigação, o cultivo do milho-doce é realizado durante todo o ano. Bom manejo da adubação e nutrição mineral, são necessários para atingir os padrões requeridos pelas indústrias processadoras, além de ganhos na quantidade e qualidade do produto, garantindo retorno adequado. Conforme Molina et al. (2013), a adubação deve ser realizada corretamente, de modo a atingir elevada eficiência, visando, além de menor custo de produção, menor dano ambiental.

Agricultores e técnicos buscando obter altas produtividades, com maior qualidade do produto, normalmente planejam a adubação baseando-se em recomendações das empresas de sementes de milho-doce ou em recomendações de

Cantarella e Raij (1997), para adubação da cultura no Estado de São Paulo, ou em Ribeiro et al. (1999), para Minas Gerais. Infelizmente, são recomendações elaboradas a bastante tempo, com manejo cultural distinto e cultivares de menor potencial produtivo.

O milho-doce mostra-se responsivo a doses de N, P e K (WENDLING et al., 2008; VALDERRAMA et al., 2011; AKINTOYE; OLANIYAN, 2012; ZHAO et al., 2013; NOGUEIRA, 2014; TAKASU et al., 2014; CRUZ et al., 2015). Nesses trabalhos, as doses de máxima eficiência produtiva encontradas foram superiores às aquelas recomendadas por Cantarella e Raij (1997) e Ribeiro et al. (1999). Como exemplo, a recomendação de N para milho-doce no Estado de São Paulo é função da produtividade esperada e classe de resposta da planta à adubação nitrogenada, sendo de 170 kg ha<sup>-1</sup> de N para produtividade entre 16 e 20 t ha<sup>-1</sup> (CANTARELLA; RAIJ, 1997). Os produtores do município de Guaíra, um dos maiores polos produtores de milho-doce do Estado de São Paulo, aplicam 250 kg ha<sup>-1</sup> de N (CRUZ et al., 2015). Verifica-se, entretanto, que o milho-doce pode responder ao fornecimento de N até 360 kg ha<sup>-1</sup>, com efeito sobre diferentes componentes da produção e sobre a qualidade de grãos (GRAZIA et al., 2003; MA; SUBEDI; ZHANG, 2007; ZHAO et al., 2013; CRUZ et al., 2015).

Segundo Okumura et al. (2013), o milho-doce tem se revelado mais exigente em fertilidade do solo que o milho-grão maduro. Acredita-se que essa divergência seja ainda mais acentuada devido à oferta atual de híbridos de milho-doce, com ciclo mais curto e metabolismo mais intenso, os quais se caracterizam por possuir alto potencial produtivo e maior demanda por nutrientes do que o milho-grão maduro (FAGERIA, 2009). Entre os trabalhos que avaliaram o acúmulo de nutrientes pelo milho-grão maduro e doce, observa-se que os resultados divergem quanto às quantidades de nutrientes acumulados e exportados (DUARTE et al., 2003; HECKMAN et al., 2003; HECKMAN, 2007; PINHO et al., 2009; BORIN et al., 2010; HART et al., 2010; HIRZEL; UNDURRAGA, 2013; MENDOZA-CORTEZ; CECÍLIO FILHO; MENESES, 2016). No entanto, devido à escassez de informações técnicas para a cultura do milho-doce, o manejo da adubação, muitas vezes é feito conforme recomendação para o milho-grão maduro.

A gestão eficaz de nutrientes para a cultura requer uma contabilidade exata de nutrientes retirados do solo na parte colhida de uma cultura (HIRZEL; UNDURRAGA, 2013). Buscando o fornecimento adequado dos nutrientes, os quais têm papel fundamental em processos fisiológicos na planta, como a fotossíntese, osmorregulação, síntese de proteínas, formação e translocação de carboidratos e ativação de enzimas, entre outros (MENGEL, 2007; HAWKESFORD et al., 2012), afetando o número de espigas comerciais, comprimento e diâmetro de espigas, produtividade de espigas e de grãos e rendimento industrial do milho-doce (TAKASU et al., 2014). Todavia, exceder o que é recomendado, gera um custo de produção elevado e acarreta diminuição do potencial genético das cultivares (COSTA et al., 2015). Ainda, aumentam as perdas por lixiviação, volatilização e o risco da poluição ambiental, tanto dos rios por eutrofização ou até mesmo do ar pela formação de gases (GAO et al., 2014).

Não se pode esquecer que o equilíbrio entre os íons no sistema solo-planta pode ser um fator limitante. As interações entre os elementos afetam desde os processos que ocorrem no solo, como o contato do nutriente com as células da raiz; como na planta, na absorção, no transporte, redistribuição e metabolismo, podendo induzir a desordem nutricional, seja esta por deficiência, seja por toxicidade, refletindo na produção das culturas (PRADO, 2008; ARAÚJO; SANTOS; CAMACHO, 2013).

A partir dessas informações constata-se que a adubação das culturas deve ser embasada em conhecimentos sobre a extração de nutrientes de cada genótipo, fertilidade dos solos, aspectos econômicos, manejo da cultura e produtividade esperada.

Uma alternativa para aprimorar o manejo das adubações consiste na diagnose do estado nutricional dos campos de produção e, desse modo, contribuir com informações para o manejo adequado da nutrição, permitindo a racionalização na aplicação de insumos, como fertilizantes e corretivos, transformando-se em lucro (ROZANE et al., 2016).

### 4.3 Avaliação do estado nutricional

Para se obter elevada produtividade das lavouras de milho-doce torna-se indispensável a adoção de um bom programa de adubação. Torna-se, assim, necessário o uso de ferramentas de diagnóstico que possam trabalhar em conjunto com a análise de solos, como a avaliação do estado nutricional de plantas, para tornar a recomendação mais próxima da demanda nutricional para a produtividade almejada do milho-doce (PARTELLI et al., 2014; BARŁÓG, 2016).

A avaliação do estado nutricional de plantas depende, porém, do estabelecimento de valores de referência para os nutrientes, tais como o teor crítico, o teor ótimo ou a faixa ótima dos teores de nutrientes nas folhas (ROZANE et al., 2016). Esse método consiste em realizar comparação entre uma amostra e um padrão de comparação, o qual foi denominado como norma (MALAVOLTA et al., 2006). A amostra pode estar constituída por uma só planta ou por um grupo de plantas, sendo as normas definidas como os conteúdos dos nutrientes na planta ou conjunto de plantas “normais” sob o ponto de vista nutricional (ROCHA et al., 2007). Malavolta et al. (1989) definem como plantas “normais” aquelas que, tendo em seus tecidos todos os elementos, em quantidades e proporções adequadas, são capazes de dar altas produções, tendo aspecto visual parecido com o encontrado em lavouras muito produtivas. A razão desta definição parte da situação de que, plantas sob condições anormais (limitantes), não podem expressar seus ótimos potenciais produtivos (ANDREW, 1968; BEAUFILS, 1973; MALAVOLTA et al., 1989). Ou seja, altos níveis de produção só podem ser conseguidos quando todos os fatores que determinam a produtividade, entre eles os fatores nutricionais, encontrarem-se em condições normais (ROZANE et al., 2016).

Dentre os métodos de diagnose de maior relevância na definição e interpretação do estado nutricional das plantas tem-se a análise de tecidos vegetais. A folha, dentre os órgãos da planta, é aquele de maior atividade metabólica. Assim, é o órgão que melhor representa a resposta da cultura às aplicações de fertilizantes, ao histórico das práticas agrícolas, alterações fisiológicas em decorrência de distúrbios nutricionais e maior correlação entre os teores de nutrientes e a produtividade da cultura (URANO et al., 2006; PARENT, 2011; GOTT et al., 2014; ROZANE et al., 2016)



Epstein e Bloom (2006) complementam que a análise de folhas é um índice mais confiável da disponibilidade de nutrientes que a determinação no solo, pois, fornece medida integrativa da aquisição de nutrientes. Essa ferramenta permite, ainda, identificar deficiências de nutrientes que provocam sintomas semelhantes, dificultando a diagnose visual.

Neste sentido, a possibilidade de se aprimorar os padrões nutricionais para o milho-doce é particularmente importante, pois permite inserir a análise de foliar como ferramenta decisiva no manejo da adubação e da fertilidade do solo.

No milho-grão maduro e no milho-doce, a amostragem foliar tem sido efetuada coletando-se o terço central da folha situada na base da espiga principal, durante o florescimento masculino (estádio  $V_T$ ) (RAIJ et al., 1997), ou conforme Malavolta et al. (2006), coletando-se o limbo da folha oposta e abaixo da espiga, no florescimento feminino (estádio  $R_1$ ), aparecimento dos estilos-estigma nas espigas. A amostragem deve ser realizada em pelo menos 30 folhas por talhão, para ambos os autores, uma amostra representativa da população para que os resultados da análise foliar tenham validação técnica e científica.

De posse das análises químicas se faz necessária a interpretação dos resultados por meio dos métodos diagnósticos, a fim de se obter uma avaliação completa do estado nutricional das plantas (SCUCUGLIA; CRESTE, 2014). A interpretação dos resultados da análise química foliar pode ser estabelecida contrastando a concentração de determinado nutriente com a concentração do mesmo elemento em plantas sadias e de elevada produtividade, denominando-se valor de referência ou valor nutricional padrão (PARENT, 2011; DIAS et al., 2013a).

Existem métodos que consideram cada elemento isoladamente, chamados métodos univariados (nível crítico e faixas de suficiência) e os métodos que relacionam nutrientes. São exemplos o método Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), bivariado, idealizado por Beaufils (1973), e o método multivariado, Diagnose da Composição Nutricional (CND), idealizado por Parent e Dafir (1992).

A utilização da análise foliar, no diagnóstico nutricional, apresenta como limitações a disponibilidade de padrões nutricionais para o diagnóstico nutricional e a confiabilidade da interpretação dos resultados analíticos. Desde que existem

controvérsias sobre a adequação dos padrões nutricionais adotados (GUINDANI et al., 2009) e da adequação de muitos métodos adotados para a interpretação dos resultados, seja pela fraqueza de certas prerrogativas adotadas para obtenção dos padrões nutricionais, como para o método do Teor Crítico, ou por sua dependência em processos computacionais empíricos, como o DRIS e CND (PARENT, 2011).

#### **4.4 Teor crítico e faixas de suficiência**

A avaliação do estado nutricional de plantas é uma ferramenta fundamental para avaliar o desempenho das adubações e melhorar a eficiência do manejo da fertilidade do solo. O teor ou nível crítico (TC) e as faixas de suficiência (FS) são as técnicas preferencialmente utilizadas, pela facilidade na interpretação dos resultados, quanto pela disponibilidade de padrões nutricionais.

Baseado nos trabalhos de Smith (1962) e Prevot e Ollagnier (1957) a curva clássica do nível crítico, descreve a relação entre o teor de um elemento na folha e o crescimento ou produção. Assim, este método univariado possibilita relacionar doses da adubação com a concentração do nutriente no tecido e esta com a produtividade, gerando uma curva de calibração. Para determinar a concentração crítica, nessa curva de calibração, indica-se o crescimento relativo (eixo y) e a concentração do nutriente em uma parte específica da planta (eixo x). O ponto em que o crescimento é reduzido para 10% é considerado o teor crítico (ROZANE et al., 2016).

Diante do exposto, quando a concentração de determinado nutriente corresponde a 90% da produtividade máxima, esta representa a concentração do nutriente a partir do qual a probabilidade de resposta ao aumento da sua disponibilidade não resulta em maior eficiência econômica (ULRICH; HILLS, 1967).

O método das FS, também se trata de uma abordagem tradicional e apresenta como vantagem adicional ao TC, obtenção de uma faixa de valores adequados e não apenas um valor pontual (WADT; DIAS, 2012; GOTT et al., 2014).

Apesar do monitoramento nutricional das plantas a partir da análise foliar do milho-doce apresentar vantagens e ser uma técnica de simples adoção, não conta com critérios de interpretação específicos publicados na literatura nas condições edafoclimáticas dos polos produtores dessa hortaliça no Brasil. Assim, para tal

finalidade são utilizados os padrões nutricionais do milho-grão maduro disponíveis em Cantarella e Rajj (1997) e Malavolta et al. (2006), para o estado de São Paulo. Ressalva-se, entretanto, que muitos desses valores críticos foram adaptações ou ensaios regionais desenvolvidos durante as décadas de 1980 e 1990, numa situação distinta quanto aos materiais genéticos atualmente utilizados, o que pode induzir a erros nos diagnósticos do estado nutricional da cultura do milho-doce. Para a cultura do milho-doce, na Florida, faixas foram propostas por Maynard e Hochmuth (2007).

O TC e as FS devido caráter univariado (onde os teores são comparados individualmente), embora de simples interpretação, não consideram as interações entre os nutrientes ou com o próprio ambiente na definição dos valores padrões. Faz-se necessário então, que todas as demais condições, exceto o nutriente em análise, sejam controladas e mantidas sob ótima disponibilidade (DIAS et al., 2013a; COELHO et al., 2013; WADT et al., 2013; SERRA et al., 2014; PEREIRA et al., 2015), conhecido como princípio do controle local.

Assim, estabelecimento do TC e/ou FS efetivas, dependente de ensaios de calibração, que devem ser executados em diversos anos e locais, representando com precisão as condições tecnológicas das culturas (DIAS et al., 2013b; ROZANE et al., 2016). Os valores de referência por estarem sujeitos a revisões periódicas, em consequência da introdução de novos materiais genéticos, novas técnicas de manejo ou de cultivo, variação nas condições do ambiente, exige, regularmente, a instalação de experimentos de calibração, os quais são onerosos e, em geral, de média a longa duração.

Acredita-se que a elaboração e utilização de metodologias mais modernas para a diagnose foliar da cultura do milho-doce permitam gerar diagnósticos nutricionais mais exatos. Desse modo, além do TC e da FS, outros métodos de diagnose têm sido estudados, destacando-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação, DRIS (BEAUFILS, 1973)

#### **4.5 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS – Diagnosis and Recommendation Integrated System)**

A metodologia DRIS pressupõe que as relações binárias (entre dois nutrientes) fornecem boa indicação do equilíbrio nutricional (SCUCUGLIA; CRESTE, 2014; SANTOS; ROZANE et al., 2017). Proposto por Beaufils (1973), o método foi desenvolvido para melhorar o diagnóstico nutricional, considerando relações entre os nutrientes, o que não era considerado nos métodos univariados (TC e FS).

Além de incorporar o conceito de balanço nutricional e minimizar, na interpretação do estado nutricional das plantas, aqueles efeitos atribuídos aos fatores não nutricionais (SERRA et al., 2014; WADT et al., 2016), este sistema permite a obtenção direta de padrões nutricionais, a partir do monitoramento dos teores foliares de lavouras comerciais. A não exigência de experimentação diminui significativamente o custo e o tempo necessário para a obtenção desses padrões e tem motivado, cada vez mais, pesquisas com DRIS (DIAS et al., 2013a; PEREIRA et al., 2015).

Ainda, apresenta como vantagens a possibilidade de produzir diagnósticos coerentes independentes do estágio de desenvolvimento da cultura e, apresentando-se os resultados em escala normatizada, contínua, e de interpretação direta (MALAVOLTA, 2006; WADT; DIAS, 2012).

Uma etapa importante na aplicação do método DRIS é a obtenção das normas, ou seja, para a utilização do sistema é necessário a coleta de quantidade substancial de dados básicos (análise foliar, análise de solo e produtividade) para estabelecer as normas ou padrões. As normas são valores médios de teores de nutrientes e das relações desses nutrientes, com as respectivas variâncias (BEAULFIS, 1973; WALWORTH; SUMNER, 1987; MALAVOLTA et al., 2006) e, permite diagnosticar com precisão o estado nutricional das plantas e auxiliar na tomada de decisão quanto ao manejo da adubação (PARTELLI et al., 2014; SOUZA et al., 2015; BARŁÓG, 2016).

A base de dados para as normas pode ser obtida tanto em experimentos de adubação como em áreas de plantios comerciais. Quando se emprega esse tipo de dado, a distribuição dos valores geralmente não segue a distribuição normal. Para normalizar a distribuição, Beaufils (1973) propôs a divisão da base de dados em dois subgrupos, um de alta produtividade e outro de baixa produtividade. Os valores das

concentrações e as relações entre concentrações dos nutrientes para o subgrupo mais produtivo (população de referência) permanecem normalmente distribuídos, e são utilizados como referência no estabelecimento dos padrões DRIS.

Entretanto, na metodologia DRIS a definição da população de referência é ampla. Beaufils (1973) e Walworth e Sumner (1987) indicam que não há critérios específicos para dividir as duas populações; Letsch e Sumner (1984) recomendam que, pelo menos 10% das amostras de alta produtividade compoñham o banco de dados; Hoogerheide (2005) cita que deve ser observada a melhor relação entre o índice de balanço nutricional (IBN) e a produtividade; Silva et al. (2005) sugerem que seja adotada a média + 0,5 desvio-padrão da população de alta produtividade; Malavolta (2006) recomenda 80% da produtividade máxima; Serra et al. (2014) aconselham o uso da média da população como critério para a escolha da população de referência. Esta abrangência na definição da população de referência implica que, para uma mesma base de dados, a avaliação do estado nutricional seja diferente, ficando a critério de quem a faz (ROZANE et al., 2016).

A partir da metodologia inicial, o DRIS (BEAUFILS, 1973) sofreu modificações (JONES, 1981; ELWALI; GASCHO, 1984; MAIA, 1999; WADT et al., 2007) ao longo do tempo, e entre as principais, a abordagem desenvolvida por Beverly (1987), que correspondeu à transformação logarítmica das relações bivariadas. Tal transformação tende à simplificação da fórmula DRIS e, como consequência, à maior coerência na expressão das normas DRIS (DIAS et al., 2010), por corrigir os desvios observados na distribuição normal entre as formas direta e inversa da expressão de uma mesma relação (HOLLAND, 1966; BEVERLY, 1987).

A revisão elaborada por Rozane et al. (2016), faz referência a interpretação do DRIS, e descreve que esta é baseada nos índices de cada nutriente, obtidos em função das relações (quocientes) entre os teores dos nutrientes. Índices DRIS positivos indicam excesso e, negativos a deficiência, enquanto que índices DRIS iguais, ou próximos de zero, indicam equilíbrio nutricional.

Recentemente, diversos pesquisadores têm utilizado o DRIS para o desenvolvimento de padrões nutricionais a partir de dados de lavouras comerciais e experimentos de culturas anuais e perenes, como cafeeiros (SILVA et al., 2011; WADT; DIAS, 2012); algodoeiro (SERRA et al., 2014); arroz irrigado (WADT et al.,

2013); milho-grão maduro (GOTT et al., 2014); laranjeiras, (CAMACHO et al., 2012); soja (URANO et al., 2006); feijoeiro (PARTELLI et al., 2014); goiaba (SOUZA et al., 2015); atemoia (SANTOS; ROZANE, 2017); tomate (SCUCUGLIA; CRESTE, 2014); cenoura (DEZORDI et al., 2016) e espécie florestal (RENÉ et al., 2013). E demonstrado, cada vez mais, o potencial do DRIS como uma ferramenta para realizar diagnósticos do estado nutricional de plantas acurados.

No entanto, de acordo com Holland (1966), a consistência da interpretação das análises de tecido vegetal aumenta à medida que o enfoque univariado (teor crítico) é ampliado, de modo a considerar as relações entre nutrientes, dois a dois, ou seja, relações duais (enfoque bivariado) e, assim, progressivamente, até idealmente abranger, mediante enfoque multivariado, toda a estrutura de variação da composição nutricional.

#### **4.6 Diagnose da Composição Nutricional (CND – Compositional Nutrient Diagnosis)**

A análise multivariada como instrumento para diagnose do estado nutricional foi indicada por Holland (1966), tendo como base a análise de componentes principais. A técnica evoluiu e foi aperfeiçoada por Parent e Dafir (1992) e baseia-se nas relações entre o teor de um nutriente e a média geométrica dos teores dos demais componentes da matéria seca (relações multivariáveis), inclusive aqueles não avaliados analiticamente, sendo considerada a melhor forma de expressão do equilíbrio no tecido vegetal (PARENT; DAFIR, 1992; EGOZCUE; PAWLOWSKY-GLAHN, 2005).

O CND é uma evolução dos métodos univariados e bivariado. Utiliza a transformação da razão log-centralizada, recomendada nos estudos desenvolvidos por Aitchison (1986), e empregada nas análises de dados composicionais, como os teores de nutrientes, apresentando potencial para melhorar a diagnose do tecido vegetal em estudo. Isso é uma grande vantagem, pois, permite o acesso às modernas ferramentas computacionais, reduzindo o esforço de análise (ROZANE et al., 2016).

O processo, por estabelecer os valores-padrão a partir de dados obtidos sob as mais variadas condições ecofisiológicas, torna possível utilizar dados de condições

de campo (talhões ou lavouras comerciais) e não apenas de ensaios controlados, assim como no DRIS. Com isso, os valores padrão podem ser constantemente reavaliados e toda vez que se faz o monitoramento nutricional novas informações são agregadas ao conjunto de dados (PARENT, 2011; WADT et al., 2013).

Outra vantagem ao se empregar a metodologia CND é a possibilidade de atribuir às carências e aos excessos o mesmo peso no desbalanço, o que pode ser detectado com o emprego da Distância de Mahalanobis (PARENT et al., 2009). Isso permite definir a contribuição de cada nutriente na composição nutricional da matéria seca (ROZANE et al., 2016). E por possuir um único desvio-padrão, diferente do DRIS, a metodologia CND possibilita, ainda, a identificação e a exclusão de dados atípicos (*outliers*), o que aumenta a confiabilidade na interpretação dos resultados (PARENT et al., 2009; PARENT et al., 2013a, b).

O tecido foliar é considerado um sistema fechado a 100%, formado por componentes conhecidos (macro e micronutrientes) e por componentes desconhecidos (outros elementos não determinados, carboidratos, etc), reunidos num termo chamado R. Isso forma um arranjo de nutrientes  $d$ -dimensional, ou seja, um *simplex* ( $S^d$ ) oriundo das proporções de  $d+1$  nutrientes que incluem os elementos  $d$  e um valor residual ( $R_d$ ) (PARENT et al., 2013a).

Avanços no emprego da análise multivariada à metodologia CND podem ser observados ainda em Parent (2011), Hernandez et al. (2012) e Parent et al. (2012), os quais indicam outras diferentes transformações para os dados, como exemplo, a razão log isométrica (*ilr*), além de fazer uso da transformação da razão log centralizada (*clr*) (PARENT; DAFIR, 1992). O objetivo é evitar a tendência numérica e a redundância inerente aos dados composicionais, reduzindo as correlações espúrias entre os componentes do tecido vegetal, no que diz respeito às distorções que ocorrem nas interpretações das análises de solo e de tecido vegetal, as quais são baseadas em  $D-1$  balanços, organizados ortogonalmente (EGOZCUE; PAWLOWSKY-GLAHN, 2005).

Segundo Hernandez et al. (2012), a abordagem *ilr* é imparcial, não tendenciosa ( $D-1$  graus de liberdade), e preserva todas as informações contidas no vetor composicional, graças ao princípio da ortogonalidade.

Diversos pesquisadores têm utilizado o CND-*clr* e *ilr* para avaliação do estado nutricional de culturas como o arroz irrigado (GUINDANI et al., 2009; WADT et al., 2013); algodão (SERRA et al., 2010; 2012), milho-grão maduro (PARENT et al., 2009; MODESTO et al., 2014); batata (PARENT et al., 1994a); milho-doce (KHIARI et al., 2001a); cenoura (PARENT et al., 1994b; DEZORDI et al., 2016); beterraba (BARŁÓG, 2016); cebola (YOUSUF et al., 2013); alho (CUNHA et al., 2016); soja (URANO et al., 2006; 2007); goiaba (HERNANDES et al., 2012; PARENT et al., 2012; PARENT et al., 2013a); manga (PARENT et al., 2013b; SOUZA et al., 2016); cafeeiros (WADT; DIAS, 2012; WAIREGI et al., 2012); laranjeiras (CAMACHO et al., 2012; DIAS et al., 2013; PARENT et al., 2013a; ROZANE et al., 2015).

A determinação de valores de referência tem sido realizada e confrontada entre métodos a fim de obter faixas nutricionais de menor amplitude e interpretações mais exatas. Neste contexto, a utilização de métodos que preconizam a interação entre nutrientes permitem ponderar um maior número de informações a fim de se obter diagnósticos mais exatos (SERRA et al., 2014).

Autores como Camacho et al. (2012), Wadt et al. (2013) e Gott et al. (2014) descrevem o CND como o método consistente na interpretação do estado nutricional, pela sua grande abrangência na interpretação. No entanto, em algumas pesquisas foi possível verificar alta correlação entre os índices DRIS e CND, para algumas variáveis (PARENT et al., 1993; PARENT et al., 1994a, b; SERRA et al., 2010; CAMACHO et al., 2012; PARTELI et al., 2014).

## 5 REFERÊNCIAS

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

AKINTOYE, H. A.; OLANIYAN, A. B. Yield of sweet corn in response to fertilizer sources. **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, v. 1, n. 5, p. 110-116, 2012.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D.; SOUZA FILHO, A. X.; FIORINI, I. V. A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 768-775, 2008.



ANDREW, C. S. Problems in the use of chemical analysis for diagnosis of plant nutrient deficiencies. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, v. 34, p. 154-162. 1968.

ARAÚJO E. O.; SANTOS, E. F.; CAMACHO M. A. Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 383-389, 2013.

BARŁÓG, P. Diagnosis of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) nutrient imbalance by DRIS and CND-*clr* methods at two stages during early growth. **Journal of Plant Nutrition**, v.39, p.1-16, 2016.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg: University of Natal (Soil Science Bulletin, 1), 1973.

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

BHATT, P. S.; YAKADRI, M.; SIVALAKSHMI, Y. Influence of varying plant densities and nitrogen levels on yield attributes and yield of sweet corn. **International Journal of Bio-Resource and Stress Management**, v. 3, p.169-172, 2012.

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorption, accumulation and export of macronutrients in sweet corn cultivated under field conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1591-1597, 2010.

BRITO M. E. B.; FILHO G. D. A.; WANDERLEY J. A. C.; MELO A. S.; COSTA F. B. DA; FERREIRA M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho-doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.

CAMACHO, M. A.; SILVEIRA, M. V.; 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 Ciências do Solo**. v. 46, p. 193-200, 2012.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Milho-verde e milho-doce. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. p. 181. (Boletim Técnico, 100).

CRUZ, C. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MENESES, N. B.; CUNHA, T. P. L.; NOWAKI, R. H. D.; BARBOSA, J. C. Influence of amount and parceling of nitrogen fertilizer on productivity and industrial revenue of sweet corn (*Zea mays* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 895-900, 2015.

CUNHA, M. L. P.; AQUINO, L. A.; NOVAIS, R. F.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, P. M.; OLIVEIRA, T. F. Diagnosis of the nutritional status of garlic crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

DEZORDI, L. R.; AQUINO, L. A.; AQUINO, R. F. B. A.; CLEMENTE, J. M.; ASSUNÇÃO, N. S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

DIAS J. R. M.; TUCCI C. A. F.; WADT P. G. S.; SILVA A. M.; SANTOS J. Z. L. Níveis críticos e faixas de suficiência nutricional em laranjeira-pêra na Amazônia Central obtidas pelo método DRIS. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 3, p. 239 - 246, 2013a.

DIAS J. R. M.; WADT P. G. S.; TUCCI C. A. F.; SANTOS J. Z. L.; SILVA S. V. Multivariate DRIS standards for the assessment of the nutritional status of the Pera orange in the state of Amazonas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 251-259, 2013b.

DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, M. A. F.; RECO, P.C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p 1-20, 2003.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Groups of parts and their balances in compositional data analysis. **Mathematical Geology**, n. 37, p. 795-828, 2005.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas**. Planta, 2006. 86 p.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants**. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. 430 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>>. Acesso em: 5 jan. 2016.

GOTT, R. M.; DE AQUINO, L. A.; DE CARVALHO, A. M.; DOS SANTOS, L. P.; NUNES, P. H.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.11, p 1-20, 2014.

GRAZIA, J. de; TITTONELL, P. A.; GERMINARA, D.; CHIESA, A. Phosphorus and nitrogen fertilisation in sweet corn. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 1, n. 2, p. 103-107, 2003.

GUINDANI, R. 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.

HART, J. M; SULLIVAN D. M.; MYERS J. R.; PEACHEY R. E. **Sweet corn: western Oregon. Nutrient management guide EM 9010-E**. Oregon State University Extension, Corvallis, OR. 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1957/19064>>. Acesso em: 27/05/2014.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; SKRUMSAGER MOLLER, I.; WHITE, P. **Function of macronutrients**. In: MARSCHNER, P. (Ed.). *Marschner's mineral nutrition*. 3. ed. Oxford, UK: Elsevier Ltd., 2012. p. 135-178. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>>. Acesso em: 27/05/2014.

HECKMAN J. R.; SIMS, J. T.; BEEGLE, D. B.; COALE, F. J.; HERBERT, S. J.; BRUULSEMA, T. W.; BAMKA, W. J. Nutrient removal by corn grain harvest. **Agronomy journal**, v. 95, n. 3, p. 587-591, 2003.

HECKMAN, J. R. Sweet corn nutrient uptake and removal. **Hort technology**, v. 17, n. 1, p. 35-47, 2007.

HERNANDES, A.; PARENT, S.-É.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Balancing guava nutrition with liming and fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**. n. 34, p. 1224-1234, 2012.

HIRZEL, J.; UNDURRAGA, P. Nutritional management of cereals cropped under irrigation conditions. **Crop Production**, v. 3 n. 12, p. 35-47, 2013.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Science**, v. 41, p. 311-329, 1966.

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

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação - segunda apuração**. Disponível em: <[http://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Agropecuario\\_2006/Segunda\\_Apuracao/censo\\_agro2006\\_2apuracao.pdf](http://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Agropecuario_2006/Segunda_Apuracao/censo_agro2006_2apuracao.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Production Agriculture. **Agronomy Journal**, n. 93, 2001b.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal**. n. 93, p. 802-808. 2001a.

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.

MA, B.; SUBEDI, K.; ZHANG, T. Pre-sidedress nitrate test and other crop-based indicators for fresh market and processing sweet corn. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 174-183, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba – SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MAYNARD, D. N.; HOCHMUTH, G. J. **Knott's handbook for vegetable growers**. Hoboken: John Wiley e Sons. EUA. 2007.

MENDOZA-CORTEZ, J. W.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MENESES, N. B. Nutrição e adubação da cultura do milho-doce. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. (Eds.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal, SP: FUNEP, FCAV, CAPES, 2016. p. 475-505.

MENGEL, K. Potassium In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.). **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis group, 2007, p. 21-50.

MODESTO, V. C.; PARENT, SE. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Foliar nutrient balance standards for maize (*Zea mays* L.) at high-yield level. **American Journal of Plant Sciences**, n. 5, p. 497-507, 2014.

MOLINA, M.; ESCUDEY, M.; CHANG, A. C.; CHEN, W.; ARANCIBIA-MIRANDAN. Trace element uptake dynamics for maize (*Zea mays* L.) grown under field conditions. *Plant and Soil*, v. 370, n. 1-2, p. 471-483. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-013-1628-x>>.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; FRANCO, A. A. N; ZACCHEO, P. V. C.; ZORZENONI, T. O. Sweet corn: Genetic aspects, agronomic and nutritional traits. **Applied Research & Agrotecnology**, v. 6, n. 1, p. 105-114, 2013.

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

PARENT, L. E.; CAMBOURIS, A. N.; MUHAWENIMANA, A. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1432-1438, 1994a.

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

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, p. 383-390, 2009.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne. v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013b.

PARENT, S.-É.; PARENT, L. E.; ROZANE D. E., HERNANDES A.; NATALE W. **Nutrient balance as paradigm of plant and soil chemometrics**. In Soil Fertility, ed. Issaka R. N., editor. (New York: InTech Publications), 2012, p. 83–114.

PARENT, S-E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J. ROZANE, D-E.; HERNANDES, A.; LAPOINTE, L.; HEBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; MARCHAND, S. LAFOND, J.; JUNIOR MATTOS, D.; BARLOW, P.; NATALE, W. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Methods Article**, Published: 22 March, 2013a.

PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; VIEIRA, H. D.; WADT, P. G. S.; PAIVA JÚNIOR, E. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 858-866, 2014.

PEREIRA, N. S.; FERREIRA, A. M. O.; SILVA, J. A. N.; ARAÚJO, L. T. L.; SILVA, F L. Obtenção de normas DRIS preliminares e faixas de suficiência para bananeira do subgrupo prata na região do Baixo Jaguaribe, CE, Brasil. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 3, p. 347-351, 2015.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 1.ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. v. 1. 300 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC (Boletim Técnico, 100), 1997. p. 45-47.

RENÉ. W.; CÔTÉ, B.; CAMIRÉ, C.; BURGESS, M.; FYLES, J. W. Development and application of CVA, DRIS, and CND norms for three hybrids of *Populus maximowiczii* planted in southern Quebec. **Journal of Plant Nutrition**. v. 36, p. 118-42, 2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROZANE, D. E.; MATTOS JUNIOR, D.; PARENT, S. É.; NATALE, W. PARENT, L. E. Meta-analysis in the selection of groups in varieties of citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, p.1948–1959, 2015.

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica** (Jaboticabal. Print), v. 44, p. 102-112, 2016.

SANTOS, E. M. H.; ROZANE, D. E. DRIS standard and normal ranges of foliar nutrients for the culture of ‘Thompson’ atemoya. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. 1-7, 2017.

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.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 97-104, 2010.

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.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; ROJAS, E. P.; VITORINO, A. C. T. Beauflis ranges to assess the cotton nutrient status in the southern region of Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36 p. 171-181, 2012.

SILVA, G. G. C. da; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 29, n. 4, p. 755-761, 2005.

SILVA, S. de A.; LIMA, J.S. de S.; QUEIROZ, D.M. de. Spatial variability in nutritional status of arabic coffee based on DRIS index. **Revista Ceres**, v. 58, p.256-261, 2011.

SMITH, P. F. Mineral analysis of plant tissues. **Annual review of plant physiology**, v. 13, p. 81-108, 1962.

SOUZA, R. S. de; FILHO, P. S. V.; SCAPIM, C. A.; MARQUES, O. J.; QUEIROZ, D. C.; OKUMURA, R. S.; RECHE, D. L.; CORTINOVE, V. B. Produtividade e qualidade do milho-doce em diferentes populações de plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 995-1010, 2013.

SOUZA, H. A.; ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A.; DIAS, M. J.; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Assessment of nutritional status of guava seedlings using preliminary DRIS norms and sufficiency ranges. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, p. 1611-1618, 2015.

TAKASU, A. T., HAGA, K. I., RODRIGUES, R. A. F.; ALVES, C. J. Produtividade da cultura do milho em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n. 2, p. 154-161, 2014.

ULRICH, A.; HILLS, F. J. Principles and practices of plant analysis. In: **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA, 1967. p. 11-24. (Special Publications Series).

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. 4, p. 1421-1428, 2006.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 254-263, 2011.

WADT, P. G. S.; TRASPADINI, E. I. F.; MARTINS, R. A.; MELO, F. B.; OLIVEIRA, I. J.; RODRIGUES, J. E. L. F.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, S. M. B. **Medidas de acurácia na qualificação dos diagnósticos nutricionais: teoria e prática**, In: (Eds.) Prado, R. M.; Filho, A. B. C. Nutrição e Adubação de Hortaliças, 5th Brasil. Symp. Plant Nutrition at High Productivity Level, Jaboticabal: UNESP, 2016. p. 371–391.

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.; 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.

WAIREGI, L. W. I.; VAN ASTEN, P. J. A. Norms for multivariate diagnosis of nutrient imbalance in arabica and rosusta coffee in the East African highlands. **Experimental Agriculture**, v. 48, n. 3, p. 448–460, 2012.

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

WENDLING, A.; FOLETTTO ELTZ, F. L.; CUBILLA, M. M.; CARNEIRO AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1929-1939, 2008.

YOUSUF, M. N.; AKTER, S.; HAQUE, M. I.; MOHAMMAD, N.; ZAMAN, M.S. Compositional nutrient diagnosis (CND) of onion (*Allium cepa* L.). **Journal Agricultural Research**, v. 38, n. 2, p. 271 -287, 2013.

ZHAO, F. C.; JING, L. Q.; YAN, F. B.; LU, D. L; WANG, G. Y.; LU, W. P. Effects of nitrogen fertilization on yield, quality and enzyme activity associated with sucrose metabolism of sweet corn. **Plan Nutrition and Fertilizer Science**, v. 19, n. 1, p. 45-54, 2013.

ZUCHARELLI, C.; PANOFF, B.; PORTUGAL, G.; FONSECA, I. C. B. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de milho-doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 480- 48, 2012.

## CAPÍTULO 2 – NORMAS DRIS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA DE NUTRIENTES PARA A CULTURA DO MILHO-DOCE

**RESUMO** – O Brasil apresenta elevado potencial para a produção de milho-doce, inclusive para exportação. Contudo, a cultura é carente de informações técnicas que auxiliem no manejo da adubação e nutrição mineral. Neste sentido, melhorar os padrões nutricionais do milho-doce é particularmente importante. Objetivou-se estabelecer normas DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) e obter as faixas de suficiência de nutrientes para a cultura do milho-doce. Realizaram-se coletas de dados (diagnose foliar e produtividade) de 179 áreas, de 2013 a 2015, no Estado de São Paulo, Brasil. As normas DRIS foram estabelecidas seguindo as relações bivariadas log-transformadas. O método de estimativa do potencial de resposta da cultura à adubação, com base nos índices DRIS, não se mostrou eficiente. Entretanto, os índices DRIS obtidos para N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn são eficientes para o diagnóstico nutricional da cultura. As faixas de suficiência obtidas para os nutrientes pelo índice DRIS para o milho-doce são, em g kg<sup>-1</sup>: N = 28 - 32; P = 2,7 - 3,2; K = 20 - 23; Ca = 4 - 6; Mg = 1,6 - 2,0 e S = 1,8 - 2,2; e em mg kg<sup>-1</sup>: B = 6 - 17; Cu = 9 - 14; Fe = 147 - 247; Mn = 29 - 49 e Zn = 20 - 31.

**Palavras-chave:** Diagnose foliar, estado nutricional, nutrição mineral, *Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*

### 1 INTRODUÇÃO

O milho-doce (*Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*) é uma hortaliça de importância econômica mundial. Seu cultivo vem expandindo-se a cada ano e insere-se como alternativa rentável ao agricultor, pelo preço diferenciado em relação ao milho-grão maduro. Em relação à produção mundial do milho-doce, de acordo com a FAO (2016), para o ano 2013 foram produzidas cerca de 9,8 milhões toneladas de espigas, em aproximadamente 1,1 milhão de hectares, conferindo uma produtividade média de 8,85 t ha<sup>-1</sup>.

Apesar do elevado potencial de produção e exportação, a carência de informações é uma das responsáveis pelas indicações técnicas, muitas vezes, empregadas inadequadamente no manejo da cultura (CRUZ et al., 2015), que possuem em sua base informações que contemplam cultivares antigas, de baixa produtividade e manejo diferenciado.



A avaliação do estado nutricional de plantas é uma ferramenta fundamental para a construção e manutenção de sistemas de produção eficientes, pois permite avaliar o desempenho das adubações e melhorar o manejo da fertilidade do solo (ROZANE et al., 2016). Para tanto, é necessário definir padrões seguros para ajustar as necessidades de cada cultura (GOTT et al., 2014).

Dentre as técnicas para avaliar o estado nutricional de plantas tem-se o 'Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação' - DRIS (*Diagnosis and Recommendation Integrated System*), proposto por Beaufils (1973). Considerando as relações entre dois nutrientes (bivariadas), o método calcula os índices que expressam o equilíbrio relativo dos nutrientes e, conseqüentemente, permite classificar os nutrientes que limitam a cultura por excesso e por deficiência.

Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer normas DRIS, classificar os nutrientes quanto ao tipo de limitação, verificar o potencial de resposta da cultura à adubação, com base nos índices DRIS, identificar a eficiência dos diagnósticos através do método da acurácia e estabelecer as faixas de suficiência dos nutrientes para a cultura do milho-doce.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Para avaliação do estado nutricional da cultura do milho-doce, no período de 2013 a 2015, foram realizadas coletas de folhas para avaliação do estado nutricional, e produtividades de 179 áreas de produção, nos municípios paulistas de Guaíra, Miguelópolis, Barretos, Jaboticabal e mineiros de Sacramento, Perdizes, Nova Ponte, Conceição das Alagoas e Planura. O maior número de coletas (n = 120) concentrou-se na região de Guaíra/SP, grande polo produtor, devido à existência de indústria processadora.

Complementando as áreas de produção comercial (n = 76), foi adicionado ao banco de dados 103 resultados de experimentos com fertilização fosfatada, potássica e nitrogenada, em milho-doce para indústria, conduzidos nos municípios de Guaíra e Jaboticabal/SP, nos anos de 2013, 2014 e 2015, respectivamente.

A fim de representar a diversidade de cultivos do milho-doce, as áreas avaliadas tinham distintos níveis tecnológicos, com solos de fertilidade baixa, média, alta e muito alta, segundo classificação de Raij et al. (1997).

O clima das regiões amostradas é classificado como tipo Aw, tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, exceto para os municípios Sacramento/MG, Perdizes/MG e Nova Ponte/MG, que possuem clima classificado como Cwa, subtropical de inverno seco e verão quente pela classificação de Köppen-Geiger (1948). A Tabela 1 apresenta as médias das temperaturas médias mínima, máxima e da precipitação pluvial, na série histórica (1971-2014) nos municípios avaliados no presente estudo.

**Tabela 1.** Localidades e dados climáticos (1971-2014) da origem das amostras

Município	T mín. (°C) <sup>1</sup>	T máx. (°C) <sup>2</sup>	Precip. <sup>3</sup>
Guaíra/SP	16,9	29,4	1374
Miguelópolis/SP	17,0	29,3	1423
Barretos/SP	16,5	29,0	1309
Jaboticabal/SP	16,8	28,9	1424
Sacramento/MG	12,9	26,6	1580
Perdizes/MG	14,5	25,8	1603
Nova Ponte/MG	15,0	26,6	1470
Conceição das Alagoas/MG	17,1	29,9	1412
Planura/MG	17,3	30,3	1386

<sup>1</sup>Temperatura mínima média anual; <sup>2</sup>Temperatura máxima média anual; <sup>3</sup> Precipitação pluvial (mm ano<sup>-1</sup>); Fonte: Dados da Rede do INMET.

Para os talhões amostrados em Guaíra, Miguelópolis e Barretos, todos no Estado São Paulo (SP), e Conceição das Alagoas, no Estado de Minas Gerais (MG), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico. O solo de Jaboticabal/SP recebeu classificação de Latossolo Vermelho Eutroférico. Para os municípios de Nova Ponte/MG e Sacramento/MG a classificação do solo foi o de Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico, enquanto o solo de Perdizes/MG recebeu a classificação de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). Nos talhões amostrados, de modo geral, o solo apresentou textura argilosa.

Para todas as áreas amostradas, tanto comerciais quanto experimentais, a cultura do milho-doce foi conduzida com espaçamento entre fileiras de 0,50 m e de

0,25 m entre plantas. Em todos os campos de produção a irrigação foi realizada por pivô central, sendo manejada por tensiometria. O controle de pragas, doenças e de plantas daninhas, foram realizados conforme necessidade e recomendação para a cultura (PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

Para a determinação do estado nutricional, foram amostrados campos comerciais com diferentes cultivares ('Tropical Plus', 'GSS 41243', '066', 'SV 006', 'SV 9298' e 'GSS 4000'). Cada talhão comercial participou com uma amostra composta, resultante de 30 subamostras simples, sendo cada amostra simples proveniente de uma planta. A amostragem das folhas foi realizada durante o florescimento masculino ( $V_T$ ), quando 50% das plantas estão pendoadas, coletando-se o terço central da folha (incluindo a nervura central) situada na base da espiga principal (CANTARELLA; RAIJ, 1997).

Após coletado o material vegetal foi lavado com água corrente, detergente a 1% e água deionizada. Em seguida, foi seco em estufa com circulação forçada de ar a  $60 \pm 5^\circ\text{C}$ , e posteriormente moído em moinho tipo Willey, utilizando-se uma peneira com malha de 0,1 mm. Posteriormente, as amostras foram analisadas quanto aos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) de acordo com métodos propostos por Miyazawa et al. (2009).

Quando as plantas encontravam-se no estágio  $R_3$ , período que é preconizado a colheita do milho-doce, a produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de cada talhão foi determinada a partir da massa de todas as espigas colhidas com palha em  $20\ m^2$ , determinada aleatoriamente no interior de cada talhão, e com três repetições, sendo assim extrapolada a quantidade por hectare.

Baseado nos teores de nutrientes presentes no tecido foliar e na produtividade, as normas DRIS foram estabelecidas seguindo as relações bivariadas log-transformadas propostas por Beverly (1987). Essa transformação das relações duais para escala logarítmica é aplicada a fim de eliminar o grau de achatamento da distribuição dos valores em relação à curva normal (efeito da curtose) no coeficiente de variação.

Para o estabelecimento das normas, primeiramente foi realizado a exclusão dos *outliers* da base de dados (179 áreas), conforme Parent et al. (2013), em seguida observada a distribuição Gaussiana, pelo teste de Shapiro-Wilk a 1% de probabilidade

de erro. Posteriormente, a base de dados foi dividida em populações de alta produtividade ou população de referência, determinada pelas produtividades superiores a produtividade média calculada, e a população de baixa produtividade (BEAUFILS, 1973; SERRA et al., 2014). 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.

Os índices obtidos pelas normas DRIS foram avaliados quanto ao Potencial de Resposta à Adubação (PRA), em suas cinco classes de respostas: positiva (p), positiva ou nula (pz), nula (z), negativa ou nula (nz) e negativa (n), como indicado por Wadt (2005). As classes obtidas foram agrupadas e denominadas, considerando o seu efeito na produtividade, em: limitantes por falta (LF = p + pz), limitantes por excesso (LE = n + nz), ou não limitantes (NL = z) como preconizam Silva et al. (2009).

Baseado na metodologia do estudo de Urano et al. (2006), as frequências com que os nutrientes ocorreram nas classes (p, pz, z, nz e n) foram submetidos à análise pelo teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) a 1 e 5% de probabilidade, para testar a hipótese de que as Frequências Observadas (FO) não se diferem estatisticamente das Frequências Esperadas (FE).

Para determinação da faixa de suficiência (FS) dos teores de cada nutriente, analogamente ao realizado por Souza et al. (2015), foi traçada a sua relação com seu respectivo índice nutricional (In). Para cada nutriente, igualou-se In a zero e obteve-se o teor do nutriente denominado Ponto de Equilíbrio Nutricional (PEN). À esse PEN foi subtraído e adicionado o valor correspondente a  $2/3$  do desvio-padrão dos teores do nutriente de toda a população, obtendo-se os limites inferior e superior da faixa de suficiência, respectivamente (KURIHARA et al., 2013; SOUZA et al., 2015). O teor do nutriente no nível crítico correspondeu ao limite inferior da faixa de suficiência.

Coefficientes de determinação dos modelos de regressão ajustados entre teores de nutrientes e seus índices DRIS foram testados pelo teste F a 1%, assim quando o  $R^2$  foi significativo foram aceitas as FS.

A soma dos valores absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente resultou no Índice de Balanço Nutricional (IBN). O quociente entre o valor de IBN e o número de nutrientes analisados definiu o Índice de Balanço Nutricional médio (IBNm).

O dados do experimento com adubação fosfatada foram utilizados para avaliação da qualidade dos prognósticos, a partir das normas DRIS, para o estado nutricional. O experimento foi realizado no período de 24-04 a 25-08 de 2014, no município de Guaira-SP, sob pivô central. Os atributos químicos do solo para profundidade de 0 a 20 cm, em pré-instalação do experimento foram avaliados de acordo com os métodos descritos em Raij et al. (2001), obtendo-se valores  $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$  5,7; matéria orgânica =  $21 \text{ g dm}^{-3}$ ,  $\text{P}(\text{resina}) = 107 \text{ mg dm}^{-3}$ , 4,1; 60; 18; 22; 82,1 e  $104,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H} + \text{Al}$ , SB e CTC, respectivamente e  $V=79\%$ . O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos em 5 repetições. Os fatores avaliados foram cinco doses de fósforo (0, 20, 40, 60 e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

O desempenho dos diagnósticos nutricionais para P foram realizados com base em DRIS, empregando-se os procedimentos de cálculo da acurácia, da razão de deficiência e do incremento líquido da produtividade, conforme Beverly e Hallmark (1992), e pelo cálculo da acurácia de deficiência e de suficiência, e da razão de eficiência (BEVERLY, 1993a). Os diagnósticos de deficiência e suficiência obtidos pelo método DRIS foram confrontados com a resposta da planta ao rendimento, com o fornecimento do fósforo. Sendo que apenas acréscimos ou decréscimos de 10% na produtividade foram considerados como suficientes para realizar o confronto entre o diagnóstico e o rendimento (BEVERLY, 1992).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *Software R* (VAN DEN BOOGAART et al., 2013).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a exclusão dos *outliers* (18 unidades) da população total avaliada ( $n=179$ ) como recomenda Parent et al. (2013), foi verificado a normalidade dos dados, pelo teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,927$ ;  $p = 0,0141$ ). Determinada pela produtividade superior, a produtividade média calculada a população de referência nutricional, constituiu-se com 44% dos talhões (71 unidades), correspondendo à população de alta produtividade. Nesta classe, as produtividades variaram entre  $15,00 - 22,20 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo portanto, superiores à produtividade média ( $14,85 \text{ t ha}^{-1}$ ) de todos os talhões

avaliados. A subpopulação de baixa produtividade foi formada por 90 talhões e teve produtividades entre 7,40 e 14,80 t ha<sup>-1</sup>. A população de referência nutricional (alta produtividade) apresentou normalidade dos dados, conforme teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,938$ ;  $p = 0,0131$ ).

Os valores mínimos, máximos, os desvios-padrão e coeficientes de variação para os teores foliares de nutrientes, bem como para a produtividade de ambas subpopulações, são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Teores mínimo e máximo, desvio-padrão ( $\sigma$ ) e coeficientes de variação (CV, %) dos teores de nutrientes na matéria seca das amostras foliares e produtividade (t ha<sup>-1</sup>), obtidos nas 161 áreas de milho-doce de baixa e alta produtividade.

	População de Baixa				População de Alta			
	Mínimo	Máximo	$\sigma$	CV	Mínimo	Máximo	$\sigma$	CV
	Produtividade, t ha <sup>-1</sup>							
	7,40	14,80	1,76	13,99	15,00	22,22	1,76	10,76
Nutrientes	----- g kg <sup>-1</sup> -----							
N	23,66	33,52	2,25	7,61	21,14	40,52	3,19	10,84
P	2,26	3,70	0,33	10,30	2,04	3,66	0,39	13,82
K	15,28	26,24	2,18	11,17	15,44	26,00	2,67	12,69
Ca	2,65	6,75	0,76	14,67	1,85	6,90	1,37	27,72
Mg	1,12	2,96	0,28	19,17	1,00	2,77	0,38	22,17
S	1,29	2,89	0,30	14,84	1,25	2,85	0,37	19,02
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
B	5,95	36,18	8,96	44,23	5,57	30,28	4,76	39,78
Cu	7,92	24,12	3,89	30,33	5,42	25,51	3,70	30,91
Fe	115,88	499,96	88,82	42,48	92,55	338,03	50,39	27,33
Mn	17,69	78,18	11,25	37,46	13,29	81,00	16,40	40,20
Zn	18,57	53,41	6,42	22,33	14,00	65,25	8,80	34,13

Foi verificado por Beverly (1987) que, quando é realizada a transformação logarítmica dos dados, esses tendem a apresentar melhor distribuição dos índices de nutrientes para gerar normas DRIS. As normas DRIS estabelecidas a partir das médias dos logaritmos das relações bivariadas e seus respectivos desvios-padrão, obtidas da subpopulação de alta produtividade de milho-doce, são observadas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Normas DRIS obtidas dos logaritmos das relações, entre os teores de dois nutrientes, na matéria seca das amostras foliares obtidas da população de alta produtividade de milho-doce

N /	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}^1$	1,02	0,15	0,78	1,23	1,18	0,41	0,40	-0,79	-0,12	0,05
$\sigma^2$	0,09	0,07	0,16	0,11	0,09	0,19	0,13	0,13	0,20	0,17
P /	N	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}$	-1,02	-0,87	-0,23	0,22	0,16	-0,60	-0,62	-1,81	-1,14	-0,96
$\sigma$	0,09	0,10	0,12	0,11	0,10	0,13	0,13	0,11	0,23	0,15
K /	N	P	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}$	-0,15	0,87	0,64	1,09	1,03	0,27	0,25	-0,94	-0,27	-0,09
$\Sigma$	0,07	0,10	0,18	0,13	0,11	0,19	0,14	0,14	0,23	0,19
Ca /	N	P	K	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}$	-0,78	0,23	-0,64	0,45	0,39	-0,37	-0,39	-1,57	-0,91	-0,73
$\Sigma$	0,16	0,12	0,18	0,11	0,16	0,13	0,17	0,15	0,23	0,15
Mg /	N	P	K	Ca	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}$	-1,23	-0,22	-1,09	-0,45	-0,06	-0,82	-0,84	-2,02	-1,36	-1,18
$\Sigma$	0,11	0,11	0,13	0,11	0,12	0,16	0,14	0,13	0,17	0,17
S /	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}$	-1,18	-0,16	-1,03	-0,39	0,06	-0,77	-0,78	-1,97	-1,30	-1,12
$\Sigma$	0,09	0,10	0,11	0,16	0,12	0,17	0,14	0,14	0,20	0,15
B /	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}$	-0,41	0,60	-0,27	0,37	0,82	0,77	-0,01	-1,20	-0,54	-0,36
$\Sigma$	0,19	0,13	0,19	0,13	0,16	0,17	0,20	0,18	0,26	0,18
Cu /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn
$\bar{x}$	-0,40	0,62	-0,25	0,39	0,84	0,78	0,01	-1,19	-0,52	-0,34
$\Sigma$	0,13	0,13	0,14	0,17	0,14	0,14	0,20	0,13	0,20	0,16
Fe /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
$\bar{x}$	0,79	1,81	0,94	1,57	2,02	1,97	1,20	1,19	0,66	0,84
$\Sigma$	0,13	0,11	0,14	0,15	0,13	0,14	0,18	0,13	0,22	0,17
Mn /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Zn
$\bar{x}$	0,12	1,14	0,27	0,91	1,36	1,30	0,54	0,52	-0,66	0,18
$\Sigma$	0,20	0,23	0,23	0,23	0,17	0,20	0,26	0,20	0,22	0,21
Zn /	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
$\bar{x}$	-0,05	0,96	0,09	0,73	1,18	1,12	0,36	0,34	-0,84	-0,18
$\Sigma$	0,17	0,15	0,19	0,15	0,17	0,15	0,18	0,16	0,17	0,21

<sup>1</sup>  $\bar{x}$  = média; <sup>2</sup>  $\sigma$  = desvio-padrão.

Para a interpretação dos diagnósticos nutricionais, tem sido largamente utilizado o método do Potencial de Resposta à Adubação (PRA) (WADT et al., 2016). A premissa da metodologia é observar quais os nutrientes que apresentam concentrações mais limitantes, por falta ou excesso para a cultura, e indicar a probabilidade das lavouras diagnosticadas responderem à adubação para determinado nutriente, influenciando a produtividade (WADT; DIAS, 2012). A determinação do PRA para a subpopulação de baixa e alta produtividade permitiu

apontar as frequências nas quais os nutrientes se comportaram quanto às classes de resposta (p, pz, z, nz e n) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Frequência observada (FO) dos nutrientes, pelo potencial de resposta à adubação (PRA) e qui-quadrado ( $\chi^2$ ) calculado, para as populações de baixa e alta produtividade de milho-doce

Classes	n		nz		Z		pz		p		
População de baixa produtividade											
Nutriente	FO	EQ.	FO	EQ	FO	EQ	FO	EQ	FO	EQ	$\chi^2$
N	0	8,18	1	22,59	83	139,2	4	17,20	2	4,67	191,84**
P	3	3,28	28	0,49	54	35,35	4	17,20	1	6,30	62,61**
K	0	8,18	0	24,55	63	60,25	16	2,98	11	0,97	96,92**
Ca	4	2,14	5	15,56	78	116,4	3	18,91	0	8,18	161,21**
Mg	2	4,67	0	24,55	28	0,49	48	22,41	12	1,78	53,90**
S	1	6,30	5	15,56	73	95,65	8	11,15	3	3,28	131,96**
B	51	224,1	4	17,20	20	0,84	7	12,54	8	0,00	254,67**
Cu	13	2,84	8	11,15	59	48,36	6	14,01	4	2,14	78,50**
Fe	15	5,68	4	17,20	55	37,79	14	4,53	2	4,67	69,87**
Mn	1	6,30	4	17,20	27	0,25	13	5,43	45	165,7	194,86**
Zn	0	8,18	17	2,32	68	76,93	3	18,91	2	4,67	111,01**
$\chi^2$	279,8**		168,4**		611,5**		145,3**		202,4**		1407,3**
População de alta produtividade											
N	5	0,33	9	5,55	44	31,34	7	7,89	6	0,03	45,15**
P	2	3,07	12	2,80	44	31,34	12	2,80	1	4,61	44,63**
K	8	0,37	9	5,55	38	17,94	10	4,53	6	0,03	28,41**
Ca	4	0,93	8	6,67	46	36,64	4	12,19	9	1,00	57,44**
Mg	6	0,03	11	3,61	46	36,64	6	9,22	2	3,07	52,58**
S	5	0,33	4	12,19	51	51,69	3	13,83	8	0,37	78,40**
B	10	1,95	11	3,61	28	3,85	16	0,58	6	0,03	9,03 <sup>ns</sup>
Cu	5	0,33	10	4,53	40	21,99	14	1,49	2	3,07	31,41**
Fe	8	0,37	7	7,89	44	31,34	4	12,19	8	0,37	52,17**
Mn	12	4,76	9	5,55	31	6,99	6	9,22	13	6,64	33,16**
Zn	6	0,03	10	4,53	39	19,91	6	9,22	10	1,95	35,64**
$\chi^2$	12,5 <sup>ns</sup>		62,5**		289,7**		83,2**		21,2*		469,02**

n: negativa, com alta probabilidade; nz: negativa, com baixa probabilidade; z: nula; pz: positiva, com baixa probabilidade; p: positiva, com alta probabilidade; EQ:  $(FE-FO)^2/FE$ ; \*significativo a 5% ( $p < 0,05$ ); \*\*significativo a 1% ( $p < 0,01$ ); <sup>ns</sup> não significativo.

Apesar do método PRA estar sendo amplamente utilizado na literatura para interpretação de índices DRIS de diversas culturas (HERNANDES et al., 2014;



SCUCUGLIA; CRESTE, 2014; SERRA et al., 2014; DEZORDI et al., 2016), é preciso questionar a confiabilidade dos dados obtidos, como indicam Santos e Rozane (2017), a fim de validar a interpretação do PRA para a cultura do milho-doce.

Todavia, ao realizar-se a análise da distribuição dos dados, pelo teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ), permitiu-se rejeitar a hipótese de que as frequências observadas para os nutrientes foram estatisticamente semelhantes às frequências esperadas em todas as classes de resposta. Disso, então, conclui-se que o PRA não foi eficiente. Souza et al. (2015) e Santos e Rozane (2017), ao avaliarem o PRA para as culturas da goiaba e da atemoia, respectivamente, mesmo sendo culturas perenes, também não constataram a eficiência do método. Tais evidências nos permitem observar que, diante do diagnóstico de excesso ou deficiência, a tomada de decisão da indicação do ajuste da adubação baseada no diagnóstico nutricional deverá repousar sobre a competência dos técnicos que atuam com a cultura.

Contudo, na população de alta produtividade, para o nutriente boro (B), na classe de resposta à adubação negativa de alta probabilidade (n), os valores do  $\chi^2$  calculado estiveram inferiores ao  $\chi^2$  tabelado ( $p < 0,01$  e/ou  $p < 0,05$ ), indicando que para esse nutriente nesta classe de resposta o método do PRA foi eficiente (Tabela 4).

O fato do B apresentar PRA negativo de alta probabilidade indica a ocorrência de limitação desse nutriente por excesso, possivelmente, devido ao milho-doce nas regiões onde o estudo foi realizado, ser comumente cultivado em sucessão a cultura do tomate para o processamento industrial, que, por sua elevada demanda por B, recebe grandes aportes deste nutriente, em seu cultivo. Ao final do ciclo do tomateiro de frutos para mesa, Prado et al. (2011) observaram que o acúmulo de B concentrou-se nas partes vegetativas (folhas, 52%; caule, 20% e raízes, 3%), revelando pequena exportação (25%) do nutriente por ocasião da colheita. Após decomposição da biomassa do tomateiro, o B retorna ao solo que pode ser absorvido pela cultura sucessora, no caso o milho-doce, colaborando para ocorrência do desequilíbrio nutricional. Conforme Rozane et al. (2016), as condições de desbalanço nutricional estão relacionadas especialmente as cultivares e as condições edafoclimáticas.

Realizando o agrupamento das classes de respostas de alta e baixa probabilidade (Tabela 5), para as condições de deficiência e excesso,  $p + pz$  e  $n + nz$ ,

respectivamente, foi obtida uma frequência de ocorrência quanto a limitação pela falta de nutrientes (LF); e frequência decrescente de limitação pelo excesso de nutrientes (LE).

**Tabela 5.** Agrupamento, em porcentagem, do potencial de resposta da cultura à adubação para a população de baixa produtividade de milho-doce

Nutriente	LF	Baixa Produtividade	
		NL	LE
N	4,90	91,18	3,92
P	7,84	60,78	31,37
K	29,41	68,63	1,96
Ca	5,88	84,31	9,80
Mg	66,67	30,39	2,94
S	8,82	83,33	7,84
B	17,65	23,53	58,82
Cu	14,71	61,76	23,53
Fe	21,57	58,82	19,61
Mn	57,84	31,37	10,78
Zn	5,88	81,37	12,75

LF = limitante por falta; NL = não limitante; LE = limitante por excesso.

Na população de baixa produtividade, foram obtidas duas sequências de limitação da produtividade, segundo a frequência de ocorrência (Tabela 5). Na limitação pela falta de nutrientes foi observada a seguinte ordem: Mg > Mn > K > Fe > B > Cu > S > P > Ca = Zn > N; e na limitação por excesso de nutrientes a sequência foi B > P > Cu > Fe > Zn > Mn > Ca > S > N > Mg > K.

Dentre os nutrientes, o magnésio (Mg) e o manganês (Mn) obtiveram maiores frequências de limitação por falta, onde 66,6 e 57,8% das áreas amostradas, respectivamente, apresentam potencial de resposta à adubação desse nutriente (Tabela 5). Possivelmente, o Mg encontra-se entre os nutrientes com maiores LF pela ausência de calagem ou correção com dose e/ou fonte inadequada. Nota-se, apesar disso, que o Ca não se apresenta como nutriente limitante por falta na maioria das lavouras, possivelmente pelo fornecimento do Ca na cultura do tomate, antecessora ao milho-doce.

Dentre os talhão avaliados o Mn mostrou-se como segundo nutriente que mais limita, por falta, a produtividade, o que corrobora as observações de Dourado Neto et al. (2015), que ao avaliarem doses crescentes de manganês no milho-grão maduro,

constatarem aumento de produtividade, de 12,7%, na dose adequada, além do Mn promover aumento na absorção de Mg, Zn e Fe. Hart et al. (2010) e Okumura et al. (2013) destacam, ainda, que o Mn é o segundo micronutriente mais acumulado pelo milho-doce, sendo que cerca de 25% total absorvido é exportado, devendo sua restituição ser planejada no programa de adubação.

Considerando ainda a população de baixa produtividade, o boro (B) e o fósforo (P) foram indicados como os nutrientes que apresentaram a maior frequência de limitação pelo excesso, 58,8 e 31,4%, respectivamente (Tabela 5). Assim como explicado para o PRA na população de alta produtividade, o desequilíbrio de B ocorre, possivelmente, devido ao milho-doce comumente suceder a cultura do tomate para o processamento industrial.

O grande número de talhões com limitação por excesso de P também pode ser justificado pelo inadequado manejo da adubação praticada na região de Guaíra. Os solos, que em geral apresentam altos teores de P-resina, acima de  $80 \text{ mg dm}^{-3}$ , a cada novo plantio, os agricultores aplicam doses fixas de fertilizantes NPK, sem levar em consideração as análises de solo que revelam comumente os altos teores do nutriente no solo. A indicação do Boletim oficial do estado de São Paulo (CANTARELLA; RAIJ, 1997) para milho-doce, em solos com alto teor de P e produtividades de 16 a  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , é de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . No entanto, a dose média empregada pelos produtores da região de Guaíra é de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Visando identificar a eficiência dos diagnósticos nutricionais, os pesquisadores como Khiari et al. (2001), Wadt e Lemos (2010), René et al. (2013) e Barlóg (2016), têm recorrido a diferentes metodologias. Dentre estes, procedimentos baseados na correlação entre variáveis relacionadas ao estado nutricional e a produtividade das plantas podem ser utilizados para avaliar a qualidade dos diagnósticos nutricionais. Barlóg (2016) e Serra et al. (2014), com o propósito de avaliar a eficiência de diferentes procedimentos do método DRIS em beterraba e algodoeiro, respectivamente, adotaram como critério de correlação entre IBN e produtividade para avaliar a eficiência de diferentes normas DRIS.

Os valores de IBNm (y) obtidos de cada talhão em função da produtividade (x) ajustaram-se à equação  $y = -0,0153x + 0,8477$  ( $p \leq 0,01$ ), com o coeficiente de correlação de Pearson,  $r = 0,37$  ( $R^2 = 0,13$ ) que, conforme Guimarães (2008),

representa fraca correlação. Desse modo, o modelo de regressão demonstra que o IBNm não forneceu informações suficientes para determinar se a produção está significativamente associada ao IBN calculado pelo método DRIS. Resultados semelhantes foram encontrados por Hernandez et al. (2014), Queiroz et al. (2014) e Santos e Rozane (2017), em laranja-pera, batata e atemoia, respectivamente. Esse resultado foi compatível com o modelo teórico sugerido por Beaufls (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). De acordo com Wadt et al. (2016), autores que apontam elevada correlação entre IBN e produtividade, estariam, na verdade, apresentando somente parte das variações que ocorrem no modelo geral, no qual, para baixos valores de IBN, qualquer valor de produtividade pode ser esperado, e para altos valores de IBN, somente valores de baixa produtividade são esperados. Portanto, atribuir desempenho insatisfatório ao DRIS quando o  $R^2$  da correlação é baixo não está correto, já que esse comportamento se explica pela ocorrência de fatores não nutricionais controlando a produtividade.

Entretanto, Wadt et al. (2013) sugerem que seja feita a validação das interpretações do estado nutricional com base na determinação do verdadeiro estado nutricional da planta, para testar a veracidade dos diagnósticos produzidos. O desempenho dos diagnósticos nutricionais para P, empregando-se o DRIS, em milho-doce, avaliado segundo critérios de Beverly e Hallmark (1992) e Beverly (1993a), é apresentado na Tabela 6.

O método DRIS não identificou corretamente os casos de verdadeira deficiência, o que não positivo dado que o objetivo primário da diagnose é identificar os casos de deficiência para correção (BEVERLY, 1993b), porém o acerto nos casos de verdadeira suficiência foi alto (Tabela 6). No entanto, a acurácia do método apresentou valor de 85% (Tabela 6), considerado satisfatório de acordo com Beverly (1992) (acima de 50%) e Wadt e Lemos (2010) (acima de 68%). Isso se deve ao fato de que a acurácia leva em conta não apenas os casos  $V_{DEF}$ , mas também os casos de  $V_{SUF}$  (BEVERLY; HALLMARK, 1992), sendo que a última teve grande influência sobre o valor da acurácia.

O método não apresentou RD e RE satisfatórias, pois o que preconizam Beverly e Hallmark (1992), é que o valor da razão de deficiência deve estar acima de 1. Valores inferiores indicam que o número de erros está superior ao número de acertos para os diagnósticos de deficiência.

**Tabela 6.** Porcentagem dos casos identificados de diagnósticos verdadeiros para deficiência ( $V_{DEF}$ ) e suficiência ( $V_{SUF}$ ), e de falsos diagnósticos para deficiência ( $F_{DEF}$ ) e suficiência ( $F_{SUF}$ ); acurácia; razão de deficiência (RD); acurácia para deficiência (AccDef) e para suficiência (AccSuf); razão de eficiência (RE) e produtividade média ( $t\ ha^{-1}$ ), obtidos pelo método DRIS nos diagnósticos do P foliar no milho-doce

Método	$V_{DEF}$	$F_{DEF}$	$V_{SUF}$	$F_{SUF}$	Acurácia	RD	AccDef	AccSuf	RE	Produtividade <sup>1</sup>
	----- % -----									$t\ ha^{-1}$
DRIS	0	5	85	10	85	0	0	94	0	0,50

<sup>1</sup> média das variações nas produtividades associadas aos diagnósticos (20 casos).

Desse modo, apesar de apresentar elevada acurácia o método falhou em identificar os casos de deficiência. No entanto o incremento da produtividade foi positivo (Tabela 6). De acordo com Beverly e Hallmark (1992), qualquer ganho produtivo é considerado como resultado satisfatório para a diagnose, sendo assim possível indicar o método testado para diagnose nutricional de lavouras de milho-doce. Considerando a média da produtividade atingida pelas parcelas experimentais de  $13,2\ t\ ha^{-1}$ , o método DRIS propiciou aumento de 4% na produtividade.

Os índices DRIS dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn ajustaram-se a modelos matemáticos significativos (Tabela 7). Os melhores ajustes para os modelos matemáticos foram obtidos através de modelos polinomiais ( $p \leq 0,01$ ).

Os valores dos coeficientes de determinação da regressão ( $R^2$ ), obtidos entre os índices DRIS e os teores dos nutrientes, variaram entre 0,45 a 0,96 para o N e B, respectivamente. Gott et al. (2014), em lavouras comerciais de milho-grão maduro, obtiveram coeficientes semelhantes, de 0,43 a 0,83 para o N e S, respectivamente. Tais amplitudes nos coeficientes podem ser justificadas pelas variações nos tratos

culturais, genótipos, manejo nutricional, além das condições de campo auferidas em cada pesquisa.

Levando-se em conta que a planta está equilibrada nutricionalmente quando os valores dos índices DRIS estão mais próximos de zero (WALWORTH; SUMMER, 1987), estabeleceram-se as concentrações foliares dos nutrientes equivalentes a esse Ponto de Equilíbrio Nutricional (PEN). O PEN e as Faixas de Suficiência (FS) dos nutrientes em milho-doce estão apresentados na Tabela 7. Os limites inferiores das FS corresponderam ao teor do nutriente no nível crítico da produtividade para a cultura do milho-doce.

**Tabela 7.** Modelos estatísticos das relações entre os teores de nutrientes e os índices DRIS para macronutrientes e micronutrientes na matéria seca foliar de milho-doce

Nutrientes <sup>1</sup>	Equação <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	PEN <sup>3</sup>	NC <sup>4</sup>	FS <sup>5</sup>
N	IN = 0,1266 N - 3,8029**	0,45	30	28	28 - 32
P	IP = 0,6883 (P) <sup>2</sup> - 3,0771 P + 3,0803**	0,56	3,0	2,7	2,7 - 3,2
K	IK = 0,2189 K - 4,6643**	0,72	21	20	20 - 23
Ca	ICa = -0,0386 (Ca) <sup>2</sup> + 0,8751 Ca - 3,365 **	0,83	5	4	4 - 6
Mg	IMg = 1,6993 Mg - 3,0855**	0,76	1,8	1,6	1,6 - 2,0
S	IS = -0,3056 (S) <sup>2</sup> + 2,6762 S - 4,1173**	0,67	2,0	1,8	1,8 - 2,2
B	IB = -0,003 (B) <sup>2</sup> + 0,2713 B - 2,7815**	0,96	12	6	6 - 17
Cu	ICu = -0,0062 (Cu) <sup>2</sup> + 0,3685 Cu - 3,486**	0,87	12	9	9 - 14
Fe	IFe = -2E <sup>-05</sup> (Fe) <sup>2</sup> + 0,0202 Fe - 3,2133**	0,90	197	147	147 - 247
Mn	IMn = -0,0008(Mn) <sup>2</sup> + 0,1267 Mn - 3,707**	0,94	39	29	29 - 49
Zn	IZn = -0,0008(Zn) <sup>2</sup> + 0,1272 Zn - 2,7157**	0,86	25	20	20 - 31

<sup>1</sup> macronutriente (g kg<sup>-1</sup>) e micronutriente (mg kg<sup>-1</sup>); <sup>2</sup> Modelo estatístico da análise de regressão dos teores de nutrientes com os seus respectivos índices DRIS; <sup>3</sup> PEN = Ponto de Equilíbrio Nutricional, representa o teor do nutriente quando In = 0; <sup>4</sup> NC = Nível Crítico; <sup>5</sup> FS = Faixas de Suficiência, obtidas para os nutrientes pelos índices DRIS; Teste F significativo à 1% (\*\*).

Não foram encontrados padrões nutricionais, na literatura, para interpretação da análise química foliar e avaliação do estado nutricional do milho-doce no Brasil. Assim, para tal finalidade, são utilizados os padrões nutricionais do milho-grão maduro, mesmo que muitos desses parâmetros sejam oriundos de pesquisas regionais desenvolvidas durante as décadas de 1980 e 1990, em situações distintas de cultivo e de material genético (CANTARELLA; RAIJ, 1997; MALAVOLTA et al., 1997).

Estão apresentadas na Tabela 8 as faixas de teores foliares, consideradas adequadas para o milho-grão maduro e para o milho-doce encontradas na literatura.

**Tabela 8.** Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o milho-grão maduro e milho-doce, em função da folha diagnóstica, pelo método da Faixa de Suficiência

Nutrientes		Faixas de Suficiência			
		----- g kg <sup>-1</sup> -----			
N	27-35 <sup>1</sup>	27,5-32,5 <sup>2</sup>	35-40 <sup>3</sup>	25-40 <sup>4</sup>	
P	2,0-4,0	2,5-3,5	3,3-3,8	2,0-4,0	
K	17-35	17-22	23-29	20-35	
Ca	2,5-8	2,5-4	4-6	3-6	
Mg	1,5-5,0	2,5-4,0	1,6-2,2	1,5-4,0	
S	1,5-3,0	1,5-2,0	2,1-3,0	2,0-4,0	
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
B	10-25	15-20	9-18	10-20	
Cu	6-20	6-20	9-14	4-10	
Fe	30-250	50-250	122-220	30-200	
Mn	20-200	50-150	17-49	30-100	
Zn	15-100	15-50	18-34	20-40	

<sup>1</sup>Cantarella e Raij (1997): milho-grão maduro - terço central da folha situada na base da espiga principal, durante o florescimento masculino (V<sub>T</sub>);

<sup>2</sup>Malavolta et al. (1997): milho-grão maduro - limbo da folha oposta e abaixo da espiga, no florescimento feminino (R<sub>1</sub>), aparecimento dos estilos-estigma nas espigas;

<sup>3</sup>Gott et al. (2014): milho-grão maduro - limbo da folha oposta e abaixo da espiga, no florescimento feminino (R<sub>1</sub>), aparecimento dos estilos-estigma nas espigas.

<sup>4</sup>Maynard e Hochmuth (2007): milho-doce – folha completa oposta a espiga principal, durante o florescimento masculino (V<sub>T</sub>).

No presente trabalho, as FS estimadas para todos os nutrientes apresentaram menores amplitudes que as relatadas na literatura para milho-grão maduro, considerando-se o mesmo critério de amostragem (CANTARELLA; RAIJ, 1997) (Tabela 7 e 8). Vale ressaltar que, as divergências nas faixas de suficiência podem estar relacionadas, também, com as diferenças fisiológicas entre o milho-doce e o milho-grão maduro, recomendando-se empregar as faixas nutricionais específicas para a melhor avaliação do estado nutricional de cada uma das culturas. Estudos realizados por Hirzel e Undurraga (2013), Molina et al. (2013) e Okumura et al. (2013), ratificam que fatores como a demanda nutricional se diferenciam nessas duas culturas.

O emprego da metodologia DRIS na determinação de FS permitiu reduzir a amplitude das faixas e pode colaborar para diagnósticos mais precisos, minimizando a probabilidade de haver talhões de baixa produtividade com teores na faixa ótima (GOTT et al., 2014), ou seja, aumenta-se o poder de distinção entre lavouras equilibradas e desequilibradas. A determinação de valores de referência tem sido realizada e confrontada entre métodos a fim de obter faixas nutricionais de menor amplitude e interpretações mais exatas. À exemplo, pesquisadores obtiveram padrões foliares por meio do DRIS e identificaram amplitudes inferiores às faixas existentes na literatura para diversas culturas, como espécie florestal (RENÉ et al., 2013), algodoeiro (SERRA et al., 2014), goiaba (SOUZA et al., 2015), cenoura (DEZORDI et al., 2016), atemoia (SANTOS; ROZANE, 2017) entre outros, resultados estes que corroboram os apresentados neste trabalho.

Os índices diagnósticos pelo método DRIS para a cultura do milho-doce, obtidos neste trabalho, são uma ferramenta útil a ser utilizada como medida preventiva ou corretiva para os desequilíbrios nutricionais.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os índices DRIS obtidos para N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram eficientes em determinar a deficiência, o excesso e o equilíbrio de nutrientes no milho-doce, porém não é eficiente em avaliar o potencial de resposta da cultura à adubação.

Na população de baixa produtividade, na limitação pela falta de nutrientes foi observada a seguinte ordem:  $Mg > Mn > K > Fe > B > Cu > S > P > Ca = Zn > N$ ; e na limitação por excesso de nutrientes a sequência foi  $B > P > Cu > Fe > Zn > Mn > Ca > S > N > Mg > K$ .

As faixas de suficiência obtidas para os nutrientes pelo índice DRIS para o milho-doce são, em  $g\ kg^{-1}$ :  $N = 28 - 32$ ;  $P = 2,7 - 3,2$ ;  $K = 20 - 23$ ;  $Ca = 4 - 6$ ;  $Mg = 1,6 - 2,0$  e  $S = 1,8 - 2,2$ ; e em  $mg\ kg^{-1}$ :  $B = 6 - 17$ ;  $Cu = 9 - 14$ ;  $Fe = 147 - 247$ ;  $Mn = 29 - 49$  e  $Zn = 20 - 31$ .



## 5 REFERÊNCIAS

- BARŁÓG, P. Diagnosis of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) nutrient imbalance by DRIS and CND-*clr* methods at two stages during early growth. **Journal of Plant Nutrition**, v.39, p.1-16, 2016.
- BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg: University of Natal. Soil Science Bulletin, n. 1, 1973. p. 132.
- BEVERLY, R. B. Comparison of DRIS and alternative nutrient diagnostic methods for soybean. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 8, p. 901-920, 1987.
- BEVERLY, R. B. Modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, p. 1.401-1.408, 1987.
- BEVERLY, R. B. Prescient diagnostic analysis shows sufficiency range approach superior to DRIS for citrus. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 23, n. 17-20, p. 2641-2649, 1992.
- BEVERLY, R. B. Re-evaluation reveals weaknesses of DRIS and sufficiency range diagnoses for wheat, corn and alfalfa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, p. 5-6, 1993a.
- BEVERLY, R. B. DRIS diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 431-447, 1993b.
- BEVERLY, R. B.; HALLMALK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 23, p. 2.633-2.640, 1992.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Milho-verde e milho-doce. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. p. 181.
- CRUZ, C. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MENESES, N. B.; CUNHA, T. P. L.; NOWAKI, R. H. D.; BARBOSA, J. C. Influence of amount and parceling of nitrogen fertilizer on productivity and industrial revenue of sweet corn (*Zea mays* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 895-900, 2015.
- DEZORDI, L. R.; AQUINO, L. A.; AQUINO, R. F. B. A.; CLEMENTE, J. M.; ASSUNÇÃO, N. S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 40, 2016.
- DOURADO NETO D.; MARTIN, T. N.; PAVINATO, P. S.; NUNES, U. R.; ESCOBAR O. S.; FIPKE, G. M. El tratamiento de semillas de maíz con micronutrientes aumenta el rendimiento de grano. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 86 - 92, 2015.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. p. 353.

FAO. FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations**. 2016. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>> Acesso em: Janeiro de 2016.

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1110–1115, 2014.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos quantitativos estatísticos**. 1ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008. p. 254.

HART, J. M.; SULLIVAN, D. M.; MYERS, J. R.; PEACHEY, R. E. **Sweet corn: nutrient management guide**. Extension Service, Oregon State University, Corvallis, OR, USA, 2010.

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.

HIRZEL, J.; UNDURRAGA, P. Nutritional management of cereals cropped under irrigation conditions. **Crop Production**, v. 3, n. 12, p. 99-130, 2013.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2014. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 21 Jul. 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 809-814, 2001a.

KOEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. 1948. p. 448.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 319.

MAYNARD, D. N.; HOCHMUTH, G. J. **Knott's handbook for vegetable growers**. Hoboken: John Wiley e Sons. EUA. 2007.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; MELLO, W. J. de; CARMO, C. A. F.S. **Análise química de tecido vegetal. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. p. 194-233.

MOLINA, M.; ESCUDEY, M.; CHANG, A. C.; CHEN, W.; ARANCIBIA-MIRANDA N. Trace element uptake dynamics for maize (*Zea mays* L.) grown under field conditions. **Plant and Soil**, v. 370, p. 471-483, 2013.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; FRANCO, A. A. N.; ZACCHEO, P. V. C.; ZORZENONI, T. O. Sweet corn: Genetic aspects, agronomic and nutritional traits. **Applied Research and Agrotecnology**, v. 6, n. 1, p. 105-114, 2013.

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, n. 39, p. 1-10, 2013.

PEREIRA FILHO, I. A.; TEIXEIRA, F. F. **O cultivo do milho-doce**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 298.

PRADO, R. de M.; SANTOS, V. H. G.; GONDIM, A. R. de O.; ALVES, A. V.; CECÍLIO FILHO, A. B., CORREIA, M. A. R. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes em tomateiro cultivar Raísa cultivado em sistema hidropônico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 19- 30, 2011.

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 Agrônômica**, v. 45, p. 351-360, 2014.

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 & Fundação IAC, 1997. p. 181.

RENÉ, W.; CÔTÉ, B.; CAMIRÉ, C.; BURGESS, M.; FYLES, J. W. Development and application of CVA, DRIS, and CND norms for three hybrids of *Populus maximowiczii* planted in southern Quebec. **Journal of Plant Nutrition**. v. 36, p. 118-142, 2013.

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, v. 44, n. 1, p.102-112, 2016.

SANTOS, E. M. H.; ROZANE, D. E. DRIS standard and normal ranges of foliar nutrients for the culture of 'Thompson' atemoya. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p.1-7, 2017.

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.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. V. H.; LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 755-761, 2009.

SOUZA, H. A.; ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A.; DIAS, M. J. T.; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Assessment of nutritional status of guava seedlings using Preliminary DRIS norms and sufficiency ranges. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, p. 1611-1618, 2015.

TEIXEIRA, L. A. J.; SANTOS, W. D.; 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: (Eds.) 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.

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.

WADT, P. G. S.; LEMOS, C. Medidas de acurácia para diagnósticos nutricionais e seu impacto no manejo das adubações. In: (Eds.) PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. 1. ed. Jaboticabal: FCAV/CAPES/FAPESP/FUNDUNESP, 2010. p. 213-236.

WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In: **Advances in soil science**. New York, NY: Springer, 1987. p. 149-188.

## CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO MILHO-DOCE PELO MÉTODO CND-*clr*

**RESUMO** - O método CND objetiva avaliar o estado nutricional de plantas considerando a interação dos nutrientes retratada na folha de diagnose e traz a possibilidade de intervenções para aprimorar as recomendações de fertilizantes e corretivos. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer as normas CND-*clr* e as faixas de suficiência dos nutrientes na cultura do milho-doce, muito carente deste tipo de informação. Realizaram-se coletas de dados (diagnose foliar e produtividade) de 179 áreas, de 2013 a 2015, no Estado de São Paulo, Brasil. As normas CND foram estabelecidas seguindo as relações multivariadas e transformação da relação log centralizada (*clr*). Os índices CND obtidos para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, em milho-doce, permitem de forma eficiente determinar a deficiência, o excesso e o equilíbrio desses nutrientes. Pelo método CND-*clr*, as faixas de suficiência dos nutrientes para o milho-doce são, em g kg<sup>-1</sup>: N = 28 - 31; P = 2,6 - 3,1; K = 20 - 23; Ca = 4 - 6; Mg = 1,6 - 2,0 e S = 1,7 - 2,2; e em mg kg<sup>-1</sup>: B = 6 - 18; Cu = 9 - 15; Fe = 128 - 230; Mn = 29 - 49 e Zn = 20 - 30.

**Palavras-chave:** Diagnose foliar, nutrição mineral de plantas, relação log centralizada, *Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*

### 1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna, de uso intensivo do solo e de alta produtividade, só é possível com fertilizações equilibradas e com o aprimoramento de tratos culturais que resultem em incrementos na produtividade (GOTT et al., 2014).

A avaliação do estado nutricional de espécies vegetais, baseada na interpretação de resultados de análise foliar, tem sido amplamente utilizada e discutida, no intuito de possibilitar intervenções mais precisas em sistemas de produção vegetal, por meio de práticas de manejo e adubação (WADT et al., 2013). No entanto, a interpretação dos valores-padrão de nutrientes determinados por métodos univariados não levam em consideração os efeitos de sinergismo, antagonismo e neutralidade dos nutrientes no tecido vegetal, ou seja, a interação entre os elementos (PARENT, 2011; PARENT et al., 2013c). Neste contexto, a utilização de métodos que preconizam a interação entre nutrientes permitem ponderar um maior número de informações a fim de se obter diagnósticos mais exatos (SERRA et al., 2014).

Dessa forma, o método CND (Diagnose da Composição Nutricional), desenvolvido por Parent e Dafir (1992), apresenta-se como o mais recente e avançado método empregado na interpretação do estado nutricional. O método baseia-se nas relações entre o teor de um nutriente e a média geométrica dos teores dos demais componentes da matéria seca (relações multivariáveis). Inclusive, aqueles não determinados analiticamente são considerados para fins de expressão do equilíbrio.

O cultivo do milho-doce (*Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*) vem expandindo-se a cada ano no Brasil e insere-se como alternativa rentável ao agricultor, pelo preço diferenciado em relação ao milho-grão maduro, atribuído ao seu uso exclusivo para consumo humano. No entanto, o manejo da cultura enfrenta escassez de informações técnicas (CRUZ et al., 2015). Assim, a possibilidade de se obter padrões nutricionais para o milho-doce é particularmente importante, pois permite gerar diagnósticos nutricionais adequados às necessidades da cultura e, conseqüentemente, aprimorar as recomendações de fertilizantes e corretivos para cultivos sucessivos.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer as normas, as faixas de suficiência dos nutrientes e classificar os nutrientes quanto ao tipo de limitação, pelo método CND-*c/r* para a cultura do milho-doce.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Para avaliação do estado nutricional da cultura do milho-doce, no período de 2013 a 2015, foram realizadas coletas de folhas, para avaliação do estado nutricional, e produtividades de 179 áreas de produção, de municípios paulistas de Guaíra, Miguelópolis, Barretos, Jaboticabal e mineiros de Sacramento, Perdizes, Nova Ponte, Conceição das Alagoas e Planura. O maior número de coletas (n = 120) concentrou-se na região de Guaíra/SP, grande polo produtor, devido à existência de indústria processadora.

O clima das regiões amostradas pode ser classificado como tipo Aw, tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, exceto para os municípios Sacramento/MG, Perdizes/MG e Nova Ponte/MG que possuem clima classificado como Cwa, subtropical de inverno seco e verão quente pela classificação de Köppen-

Geiger (1948). A Tabela 1 apresenta as médias das temperaturas médias mínima, máxima e da precipitação pluvial, na série histórica (1971-2014) dos municípios avaliados no presente estudo.

**Tabela 1.** Localidades e dados climáticos (1971-2014) da origem das amostras

Município	T mín. (°C) <sup>1</sup>	T máx. (°C) <sup>2</sup>	Precip. <sup>3</sup>
Guaíra/SP	16,9	29,4	1374
Miguelópolis/SP	17,0	29,3	1423
Barretos/SP	16,5	29,0	1309
Jaboticabal/SP	16,8	28,9	1424
Sacramento/MG	12,9	26,6	1580
Perdizes/MG	14,5	25,8	1603
Nova Ponte/MG	15,0	26,6	1470
Conceição das Alagoas/MG	17,1	29,9	1412
Planura/MG	17,3	30,3	1386

<sup>1</sup>Temperatura mínima média anual; <sup>2</sup>Temperatura máxima média anual; <sup>3</sup> Precipitação pluvial (mm ano<sup>-1</sup>); Fonte: Dados da Rede do INMET.

Em complemento às áreas de produção comercial (n = 76), foram adicionadas 103 amostras correspondentes a resultados de experimentos realizados para avaliação de resposta do milho-doce à doses de nitrogênio, fósforo e potássio, conduzidos nos municípios de Guaíra e Jaboticabal, SP, nos anos de 2013, 2014 e 2015. A fim de proporcionar variabilidade quanto aos teores foliares e produtividades da cultura, o banco de dados foi composto de áreas de produção comercial, com distintos pacotes tecnológicos das cultivares ‘Tropical Plus’, ‘GSS 41243’, ‘066’, ‘SV 006’, ‘SV 9298’ e ‘GSS 4000’, estabelecidas em solos com fertilidade baixa, média, alta e muito alta, segundo classificação de Raij et al. (1997).

Para os talhões amostrados em Guaíra, Miguelópolis e Barretos, todos no Estado São Paulo (SP), e Conceição das Alagoas, no Estado de Minas Gerais (MG), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico. O solo de Jaboticabal/SP recebeu classificação de Latossolo Vermelho Eutroférico. Para os municípios de Nova Ponte/MG e Sacramento/MG a classificação do solo foi o de Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico, enquanto o solo de Perdizes/MG recebeu a classificação de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). Nos talhões amostrados, de modo geral, o solo apresentou textura argilosa.

Para todas as áreas amostradas, tanto comerciais quanto experimentais, a cultura do milho-doce foi conduzida com espaçamento entre fileiras de 0,50 m e de 0,25 m entre plantas. Em todos os campos de produção a irrigação foi realizada por pivô central. O controle de pragas, doenças e de plantas daninhas, foi realizado conforme recomendação para a cultura (PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

Para a determinação do estado nutricional, durante o florescimento masculino ( $V_T$ ), o terço central da folha (incluindo a nervura central) situada na base da espiga principal, foi amostrado de 30 plantas, segundo critério estabelecido por Cantarella e Rajj (1997). Estas 30 amostras simples formaram uma amostra composta por área amostrada. O material vegetal foi lavado com água corrente, detergente a 1% e água deionizada. Em seguida, foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 60-65°C. Uma vez seco, o material vegetal foi moído, em moinho tipo Willey, utilizando-se uma peneira com malha de 0,1 mm. Posteriormente, as amostras foram analisadas quanto aos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), de acordo com métodos propostos por Miyazawa et al. (2009).

Quando as plantas encontravam-se no estágio  $R_3$ , período em que se realiza a colheita do milho-doce, a produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de cada talhão foi determinada a partir da massa de todas as espigas colhidas com palha em 20  $m^2$ , com três repetições, e extrapolada a quantidade por hectare.

Para o estabelecimento das normas CND-*clr*, primeiramente, foi realizado a exclusão dos *outliers* da base de dados (179 áreas), conforme Parent et al. (2013a). Em seguida, foi observada a distribuição Gaussiana, pelo teste de Shapiro-Wilk a 1 % de probabilidade de erro.

Seguindo as relações multinutrientes, de acordo com as equações propostas por Parent e Dafir (1992) e Parent et al. (1993), todos os teores de macronutrientes e micronutrientes foram expressos em  $mg\ kg^{-1}$ , e as produtividades em  $t\ ha^{-1}$ .

A representação da abordagem CND-*clr* para os dados computacionais e suas fórmulas de cálculo, segundo Aitchison (1986), é apresentada por Parent e Dafir (1992), Parent et al. (1993) e Parent et al. (2009), como segue:

$$clr_j = \ln \frac{x_j}{g(x)}$$



onde:  $x_j$  é o componente  $j$  no numerador,  $j = [1...D]$  e  $g(x)$  é a média geométrica de todos os componentes, como segue:

$$g = (A \times B \times \dots \times C \times R)^{\frac{1}{n-1}}$$

onde:  $g$  é a média geométrica das concentrações dos nutrientes da matéria seca, adaptado por Khiari et al. (2001). O componente  $R$  é obtido segundo a equação a seguir

$$R = 1.000.000 - (A + B + \dots + n)$$

onde: 1.000.000 é o total de mg kg<sup>-1</sup>; a este valor é subtraído a somatória dos nutrientes em mg. Ao final, foram utilizados 12 componentes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e  $R$ ), para os cálculos da abordagem CND-*clr*.

A distância de Mahalanobis (DM), apresentada como índice de desequilíbrio de nutrientes (PARENT et al., 2011), foi calculada usando a matriz de covariância (COV), a partir da média das transformações CND-*clr*, como segue:

$$DM = \sqrt{(clr_j - clr_j^*)^T COV^{-1} (clr_j - clr_j^*)}$$

na qual:  $clr_j$  é a amostra a ser comparada;  $clr_j^*$  é a média da população de referência e COV é a matriz de covariância da população de referência.

Com base na DM, o teste de  $\chi^2$  foi calculado, sendo excluídas as amostras cujo valor foi inferior a 1% ( $p < 0,01$ ).

Posteriormente, a base de dados foi dividida em população de alta produtividade (população de referência) e baixa produtividade, seguindo a metodologia descrita por Khiari et al. (2001b), a partir do ponto de inflexão (PI) da função cumulativa definida pela sua mudança de conformação, e expressa no PI pela expressão  $-b/3a$ .

Os índices de balanço nutricional, CND-*clr*, foram calculados como segue:

$$I_{clr_i} = \frac{clr_i - clr_i^*}{S_i^*}$$

na qual:  $I_{clr_i}$  é o índice CND-*clr* do nutriente *i* da amostra *n*;  $clr_i^*$  é o media da transformação CND-*clr* da população de alta produtividade (população de referência) para o nutriente *i* e  $S_i^*$  é o desvio-padrão da população de referência para o nutriente *i*.

Para determinação das faixas de suficiência dos teores de cada nutriente, analogamente ao realizado por Souza et al. (2015), foi traçada a sua relação com seu respectivo índice de balanço nutricional (In). Para cada nutriente, igualou-se In a zero e obteve-se o teor do nutriente, que foi denominado de Ponto de Equilíbrio Nutricional (PEN). À esse PEN foi subtraído e adicionado o valor correspondente a  $2/3$  do desvio-padrão dos teores do nutriente na população de referência, obtendo-se os limites inferior e superior da faixa de suficiência (FS), respectivamente. O teor do nutriente no nível crítico correspondeu ao limite inferior da faixa de suficiência.

Coefficientes de determinação dos modelos de regressão ajustados entre teores de nutrientes e os índices CND foram testados pelo teste F a 1%. Quando  $R^2$  foi significativo, foram aceitas FS.

Índice geral de equilíbrio (CND- $r^2$ ) foi determinado através da soma dos quadrados dos índices de balanço nutricional dos nutrientes:

$$CND-r^2 = I^2N + I^2P + I^2K + \dots + I^2R$$

O dados do experimento com adubação fosfatada foram utilizados para avaliação da qualidade dos prognósticos, a partir das normas CND-*clr*, para o estado nutricional. O experimento foi realizado no período de 24-04 a 25-08 de 2014, no município de Guaíra-SP, sob pivô central. Os atributos químicos do solo para profundidade de 0 a 20 cm, em pré-instalação do experimento foram avaliados de acordo com os métodos descritos em Raij et al. (2001), obtendo-se valores pH(CaCl<sub>2</sub>) 5,7; matéria orgânica = 21 g dm<sup>-3</sup>, P(resina) = 107 mg dm<sup>-3</sup>, 4,1; 60; 18; 22; 82,1 e 104,1 mmolc dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, H + Al, SB e CTC, respectivamente e V=79%. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 5

repetições. Os fatores avaliados foram cinco doses de fósforo (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

O desempenho dos diagnósticos nutricionais para P foram realizados com base em CND empregando-se os procedimentos de cálculo da acurácia, da razão de deficiência e do incremento líquido da produtividade, conforme Beverly e Hallmark (1992), e pelo cálculo da acurácia de deficiência e de suficiência, e da razão de eficiência (BEVERLY, 1993a). Os diagnósticos de deficiência e suficiência obtidos pelo método CND foram confrontados com a resposta da planta ao rendimento, com o fornecimento do fósforo. Sendo que apenas acréscimos ou decréscimos de 10% na produtividade foram considerados como suficientes para realizar o confronto entre o diagnóstico e o rendimento (BEVERLY, 1992).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *Software R* (VAN DEN BOOGAART et al., 2013).

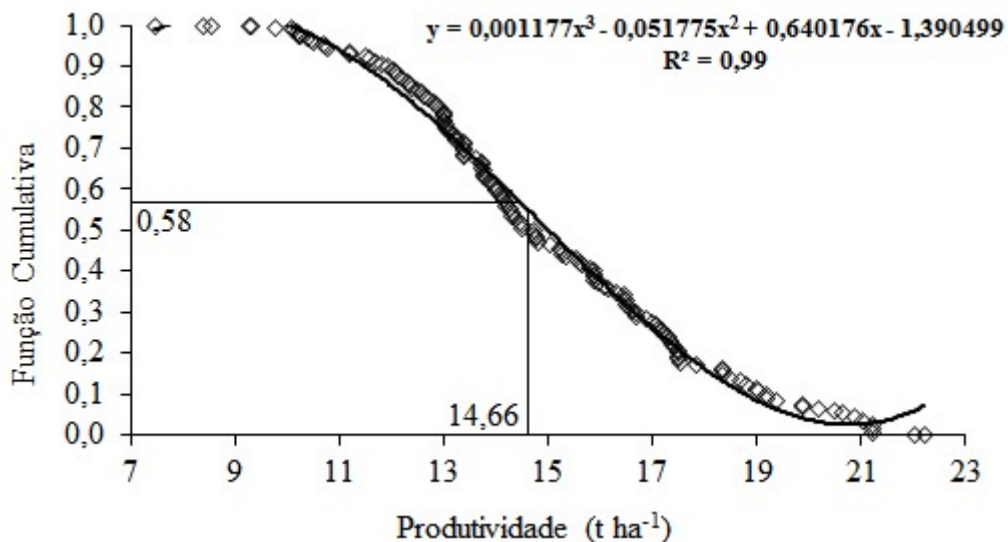
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Previamente à elaboração das normas CND-*clr*, aplicou-se o critério de Parent et al. (2013a), realizando a exclusão de 18 *outliers* do banco de dados, restando 161 amostras. Em seguida, realizou-se a distribuição Gaussiana das 161 amostras e observou-se normalidade dos dados para a variável produtividade (t ha<sup>-1</sup>), conforme teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,927$ ;  $p = 0,0141$ ). A normalidade dos dados amostrais é uma condição exigida para a realização das inferências a serem validadas para parâmetros populacionais (CANTELMO; FERREIRA, 2007).

A análise multivariada empregada nos cálculos propostos por Parent e Dafir (1992) permite que a distância de Mahalanobis (DM) exclua os dados discrepantes, o que não é possível empregando-se os métodos bivariados, como o DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação) (ROZANE et al., 2015), sendo esta uma das vantagens do método CND- *clr*. Desse modo, submetendo as 161 amostras à distância de Mahalanobis, observou-se que houve, ainda, 9 dados incoerentes (*outliers*), os quais foram excluídos. A distribuição Gaussiana dos dados de produtividade das 152 amostras revelou melhor ajuste (teste de Shapiro-Wilk,  $W = 0,938$ ,  $p = 0,0152$ ), mostrando que os dados continuam possuindo distribuição normal.

A DM atribui às carências e aos excessos o mesmo peso no desbalanço (PARENT et al., 2009), o que permite definir a contribuição de cada nutriente na composição nutricional da matéria seca (ROZANE et al., 2016).

A função cumulativa da população avaliada e a produtividade encontrada no ponto de inflexão (14,66 t ha<sup>-1</sup>), apresentada na Figura 1, foi obtida conforme metodologia descrita por Khiari et al. (2001b), como o valor base para a divisão das subpopulações de alta e baixa produtividade. Da população, 41% das amostras (62 unidades) corresponderam à população de alta produtividade, constituindo-se como a população de referência nutricional, com produtividades entre 14,72 e 22,22 t ha<sup>-1</sup>. A população de referência é baseada na premissa de que existe 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 (BARŁÓG, 2016). Assim, essa população é utilizada para elaboração das normas CND-*clr*. A subpopulação de baixa produtividade ficou formada por 90 talhões e teve produtividades entre 6,60 e 14,50 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 1.** Função cumulativa do banco de dados da cultura do milho-doce (n=152).

Os valores máximos, mínimos, os desvios-padrão e coeficientes de variação para os teores foliares de nutrientes, bem como para a produtividade de ambas subpopulações, são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Teores mínimo, máximo, desvio-padrão ( $\sigma$ ) e coeficiente de variação (CV, %) dos teores de nutrientes da matéria seca das amostras foliares e produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) obtidos nas 152 áreas de milho-doce de baixa e alta produtividade

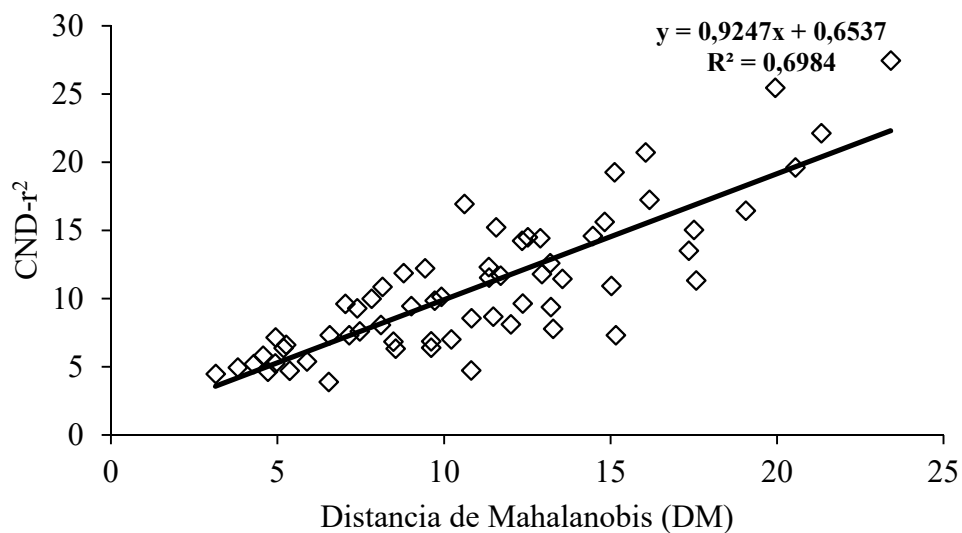
	População de Baixa				População de Alta			
	Mínimo	Máximo	$\sigma$	CV	Mínimo	Máximo	$\sigma$	CV
	Produtividade, $t\ ha^{-1}$							
	6,59	14,50	1,77	14,09	14,72	22,22	2,02	11,52
Nutrientes	----- $g\ kg^{-1}$ -----							
N	23,66	33,52	2,18	7,35	21,14	33,52	2,72	9,21
P	2,41	3,70	0,32	9,87	2,04	3,66	0,38	13,49
K	15,28	26,24	2,18	11,13	15,44	26,00	2,57	12,19
Ca	2,65	6,75	0,76	14,72	2,20	6,83	1,21	24,04
Mg	1,12	1,97	0,20	14,14	1,15	2,71	0,34	19,68
S	1,29	2,89	0,31	15,41	1,25	2,72	0,35	17,64
	----- $mg\ kg^{-1}$ -----							
B	5,95	36,18	8,95	44,00	5,57	30,28	4,67	38,36
Cu	7,92	24,12	3,89	30,21	6,38	25,51	3,76	30,79
Fe	115,88	499,96	89,07	42,32	92,55	338,03	49,99	26,94
Mn	17,69	78,18	11,13	37,43	15,93	81,00	16,69	39,57
Zn	18,57	53,41	6,35	22,09	14,00	65,25	9,07	34,96

No cálculo do índice geral de equilíbrio (CND- $r^2$ ), cada amostra caracteriza-se por seu raio,  $r$ , calculado a partir dos índices de nutrientes CND.

Os índices CND são independentes e o valor CND- $r^2$  deve ter a distribuição qui-quadrado ( $\chi^2$ ) (KHIARI et al., 2001a). A função de distribuição do  $\chi^2$  fornece uma vantagem para CND sobre DRIS, como um modelo de sustentação genérico para pequenas bases de dados. Quanto mais perto de zero, os índices de CND e, por consequência, o CND- $r^2$  ou os valores de  $\chi^2$ , mais elevada a probabilidade de se obter alta produtividade (KHIARI et al., 2001b).

A Distância de Mahalanobis (DM) é outra medida de distância multivariada que tem uma distribuição  $\chi^2$  (HADI 1992, 1994). Comparado com CND- $r^2$ , a DM requer uma matriz de covariância inversa ao invés de uma matriz de variância inversa (PARENT et al., 2009). Filzmoser e Hron (2008) utilizaram a DM para identificar *outliers* em conjuntos de dados de composicionais. Uma vez que DM fornece uma zona de rejeição probabilística, essa pode ser usada para detectar amostras desequilibradas, como *outliers*, em conjuntos de dados de nutrientes de culturas (PARENT et al., 2009).

Quando realizada a correlação entre a DM e o CND- $r^2$ , na população de referência, é possível determinar o grau de tendência metodológica da abordagem diagnóstica (Figura 2). Através da boa correlação,  $r = 0,83$  ( $R^2 = 0,69$ ,  $p < 0,01$ ), entre esses, observa-se que quanto maior é a distância (DM), maior é o desequilíbrio nutricional. Assim, pode-se aceitar o método CND-*clr* como adequado para diagnosticar nutrientes na cultura do milho-doce. Resultados encontrados na literatura com batata (KHIARI et al., 2001b) e milho-doce (PARENT et al., 2009), corroboram este trabalho.



**Figura 2.** Índice geral de equilíbrio (CND- $r^2$ ) e Distância de Mahalanobis (DM) da população de alta produtividade ( $n=62$ ).

As normas CND-*clr* foram estabelecidas a partir das médias dos logaritmos naturais das relações multivariadas das amostras foliares e seus respectivos desvios-padrão, obtidas da subpopulação de alta produtividade de milho-doce (Tabela 3). Essa transformação logarítmica dos dados permitiu que todas as variáveis apresentassem distribuição normal a 5% de probabilidade, fornecendo uma base mais confiável para os procedimentos estatísticos, devido à diminuição da escala avaliada e da sua dispersão. Holland (1966) verificou que o uso dessa transformação logarítmica, para linearizar as funções de dados originais, melhorou a compreensão da composição da folha, em comparação a qualquer ferramenta de diagnóstico uni e bivariado.

**Tabela 3.** Normas CND-*clr* obtidas das variáveis multinutrientes e média geométrica dos constituintes das matérias secas (G) das amostras foliares obtidas da subpopulação de alta produtividade (população de referência) de milho-doce

Variável	$\bar{x}$ <sup>1</sup>	$\sigma$ <sup>2</sup>
V <sub>N</sub>	3,41*	0,16
V <sub>P</sub>	1,07*	0,14
V <sub>K</sub>	3,08*	0,20
V <sub>Ca</sub>	1,61*	0,21
V <sub>Mg</sub>	0,57*	0,16
V <sub>S</sub>	0,69*	0,16
V <sub>B</sub>	-4,44*	0,33
V <sub>Cu</sub>	-4,39*	0,24
V <sub>Fe</sub>	-1,64*	0,26
V <sub>Mn</sub>	-3,19*	0,39
V <sub>Zn</sub>	-3,65*	0,22
G	969,80*	0,12

<sup>1</sup>  $\bar{x}$  = média; <sup>2</sup>  $\sigma$  = desvio-padrão; \* Significativo para distribuição normal a 5% ( $p \leq 0,05$ ).

Assim como Khiari et al. (2001a), René et al. (2013) e Bartóg (2016), correlacionou-se o diagnóstico da composição nutricional e a produtividade, a fim de observar a eficiência do método utilizado nesse trabalho, onde o coeficiente de correlação ( $r$ ) demonstra a proximidade dessa relação.

A relação do índice CND- $r^2$  ( $y$ ), obtidos de cada talhão, com a produtividade ( $x$ ), ajustaram-se à equação  $y = -0,2553x + 18,279$  ( $p \leq 0,01$ ), com o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) = 0,45 ( $R^2 = 0,21$ ). Desse modo, o modelo de regressão demonstra que o CND- $r^2$ , de forma moderada (GUIMARÃES, 2008), tem capacidade em prever o estado nutricional do milho-doce, onde 21% da variação da produtividade da população estudada pode estar associada ao balanço nutricional calculado pelo método CND-*clr*. No entanto, conforme Wadt et al. (2016), a elevada ou baixa correlação entre o índice nutricional e a produtividade não serve, de forma isolada, para justificar a validade do modelo. Pois em condição de média a elevada correlação, estas, estão associadas a uma condição em que nenhum outro fator estaria afetando o desempenho da cultura ou o equilíbrio nutricional. Apesar desta afirmação, no presente trabalho, foi encontrada moderada correlação mesmo em situação de diferentes manejos e ambientes, o que não é comum encontrar (WADT et al., 2016).

Desse modo, Wadt et al. (2013) sugerem que seja feita a validação das interpretações do estado nutricional com base na determinação do verdadeiro estado nutricional da planta, para testar a veracidade dos diagnósticos produzidos, segundo critérios de Beverly e Hallmark (1992) e Beverly (1993a).

O desempenho dos diagnósticos nutricionais para P, empregando-se o CND-*clr*, em milho-doce é apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Porcentagem dos casos identificados de diagnósticos verdadeiros para deficiência ( $V_{DEF}$ ) e suficiência ( $V_{SUF}$ ), e de falsos diagnósticos para deficiência ( $F_{DEF}$ ) e suficiência ( $F_{SUF}$ ); acurácia; razão de deficiência (RD); acurácia para deficiência (AccDef) e para suficiência (AccSuf); razão de eficiência (RE) e produtividade média ( $t\ ha^{-1}$ ), obtidos pelo método CND-*clr* nos diagnósticos do P foliar no milho-doce

Método	$V_{DEF}$	$F_{DEF}$	$V_{SUF}$	$F_{SUF}$	Acurácia	RD	AccDef	AccSuf	RE	Produtividade <sup>1</sup> t ha <sup>-1</sup>
					----- %					
CND	0	0	90	10	90	1	0	100	0	0,60

<sup>1</sup> média das variações nas produtividades associadas aos diagnósticos (20 casos).

A acurácia do método apresentou valor de 90% (Tabela 4), considerado satisfatório de acordo com o indicado por Beverly (1992) e Wadt e Lemos (2010), acima de 50% e 68%, respectivamente. No entanto, não identificou-se corretamente os casos de verdadeira deficiência, o que não positivo dado que o objetivo primário da diagnose é identificar os casos de verdadeira deficiência (BEVERLY, 1993b), porém o acerto nos casos de verdadeira suficiência foi alto (Tabela 4). Isso se deve ao fato de que a acurácia leva em conta não apenas os casos  $V_{DEF}$ , mas também os casos de  $V_{SUF}$  (BEVERLY; HALLMARK, 1992).

O método apresentou RD aceitável, pois o que preconizam Beverly e Hallmark (1992) é que o valor da razão de deficiência esteja acima de 1, valores inferiores indicam que o número de erros está superior ao número de acertos para os diagnósticos de deficiência.

No entanto, para AccDef, o método CND não alcançou valores de no mínimo 50% de acurácia tanto para os diagnósticos de deficiência como para os de



suficiência. De acordo com Beverly (1993), valores abaixo indicam que os diagnósticos falsos prevalecem aos diagnósticos corretos, caso que deve ser evitado. Por outro lado a AccSuf, alcançou o valor de 100%.

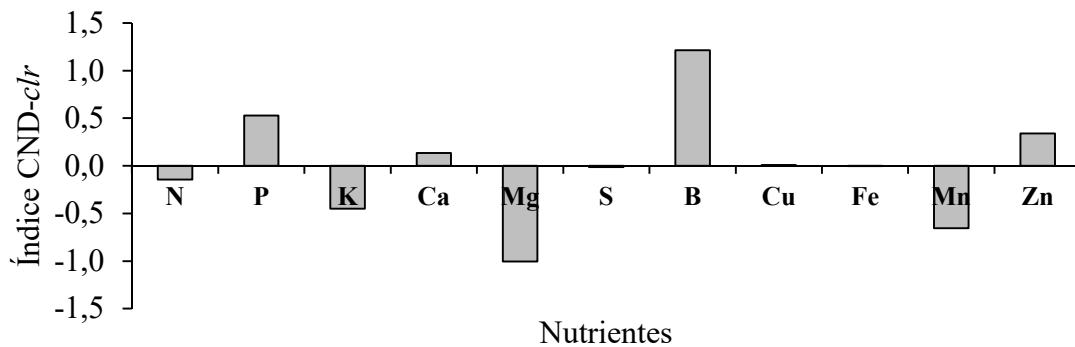
Desse modo, apesar de apresentar elevada acurácia o método falhou em identificar os casos de deficiência. No entanto o incremento da produtividade foi positivo (Tabela 4). Considerando a média da produtividade atingida pelas parcelas experimentais de 13,2 t ha<sup>-1</sup>, o método CND propiciou aumento de 5% na produtividade. De acordo com Beverly e Hallmark (1992), qualquer ganho produtivo é considerado como resultado satisfatório para a diagnose, sendo assim possível indicar o método testado para diagnose nutricional de lavouras de milho-doce.

No método CND-*clr*, é possível verificar a ordem de limitação dos nutrientes, pois os nutrientes com índices mais negativos são os mais limitantes, e aqueles com índices mais positivos caracterizam excesso. Quando o índice do nutriente se aproxima de zero, ou quando igual a zero, indica equilíbrio nutricional.

Realizando as médias dos índices CND-*clr* dos nutrientes na população de baixa produtividade, obteve-se a sequência dos nutrientes que apresentaram maiores ocorrências de limitação pela falta aos que apresentaram maiores frequências de limitação pelo excesso: Mg > Mn > K > N > S > Fe > Cu > Ca > Zn > P > B. Na Figura 3 seguem as médias dos índices nutricionais CND-*clr*, na população de baixa produtividade do milho-doce. Com base nessas informações, o programa de fertilização para novos cultivos deverá ser reavaliado objetivando-se reduzir ou eliminar a fonte de desequilíbrio nutricional.

Os índices CND dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (Tabela 5) ajustaram-se a modelos matemáticos significativos, os melhores ajustes foram obtidos através de modelos polinomiais ( $p \leq 0,01$ ).

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos estatísticos variaram entre 0,43 para o nitrogênio e 0,97 para o nutriente boro. Observou-se que, mesmo para os nutrientes que o  $R^2$  dos modelos ajustados era baixo, o ajuste linear foi significativo ( $p \leq 0,01$ ). Baixos  $R^2$  também foram observados por Modesto et al. (2014) e Cunha et al. (2016). Da mesma forma, todos os autores encontraram modelos significativos para suas relações, e foram bem sucedidos na determinação das faixas de suficiência.



**Figura 3.** Médias dos índices nutricionais para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, que comprometeram o equilíbrio nutricional do milho-doce na população de baixa produtividade. Índice positivo e negativo representam excesso e deficiência, respectivamente.

Levando-se em conta que a planta está equilibrada nutricionalmente quando os valores dos índices CND estão mais próximos de zero (WALWORTH; SUMMER, 1987), pontos de equilíbrio nutricional (PEN) foram encontrados e a partir deles calculadas as faixas de suficiência dos nutrientes em milho-doce (Tabela 5). O limite inferior da faixa de suficiência correspondeu ao teor do nutriente no nível crítico.

No presente trabalho, as faixas de suficiência estimadas para todos os nutrientes apresentaram menores amplitudes que as relatadas na literatura para milho-grão maduro e milho-doce (Tabelas 5 e 6). A redução da amplitude das faixas colabora com diagnósticos mais precisos, minimizando a probabilidade de haver áreas de baixa produtividade com teores na faixa ótima (DEZORDI et al., 2016), ou seja, aumenta-se o poder de distinção entre lavouras equilibradas e desequilibradas. As faixas mais estreitas geradas pelo método CND podem ser explicadas por menores efeitos de concentração e de diluição dos nutrientes na matéria seca, causados pelas funções multivariadas de cálculo do método (WAIREGI; VAN ASTEN, 2012; PARTELLI et al., 2014; CUNHA et al., 2016).

A estabilidade da interpretação das análises de tecido vegetal aumenta à medida que o enfoque bivariado (relações duais ou DRIS) é ampliado às relações ternárias até idealmente abranger, mediante enfoque multivariado, toda a estrutura de variação da composição nutricional (HOLLAND, 1966, DELGADO; VAN DEN BOOGART, 2011). Desse modo, o método CND por gerar faixas estreitas e por

diagnosticar a relação multivariada entre nutrientes pode ser considerado o método promissor para diagnóstico do estado nutricional do milho-doce.

**Tabela 5.** Modelos estatísticos das relações entre os teores de nutrientes e os índices CND-*clr* para macronutrientes e micronutrientes na matéria seca foliar de milho-doce

Nutrientes <sup>1</sup>	Equação <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	PEN <sup>3</sup>	NC <sup>4</sup>	FS <sup>5</sup>
N	IN = -0,0101 (N) <sup>2</sup> + 0,7984 N - 14,793**	0,43	30	28	28 – 31
P	IP = 2,0679 P - 5,8464**	0,59	2,8	2,6	2,6 - 3,1
K	IK = 0,0011 (K) <sup>2</sup> + 0,2521 K - 5,8577**	0,72	21	20	20 – 23
Ca	ICa = -0,0686 (Ca) <sup>2</sup> + 1,4054 Ca - 5,2857**	0,84	5	4	4 – 6
Mg	IMg = 2,9938 Mg - 5,4647**	0,74	1,8	1,6	1,6 - 2,0
S	IS = -1,3388 (S) <sup>2</sup> + 7,7715 S - 10,041**	0,70	1,0	1,7	1,7 - 2,2
B	IB = -0,0041 (B) <sup>2</sup> + 0,3415 B - 3,4854**	0,97	12	6	6 – 18
Cu	ICu = -0,0084 (Cu) <sup>2</sup> + 0,4972 Cu - 4,7587**	0,89	12	9	9 – 15
Fe	IFe = -2E <sup>-05</sup> (Fe) <sup>2</sup> + 0,0285 Fe - 4,4651**	0,92	179	128	128 - 230
Mn	IMn = -0,0009 (Mn) <sup>2</sup> + 0,1451 Mn - 4,318**	0,94	39	29	29 – 49
Zn	IZn = -0,0012 (Zn) <sup>2</sup> + 0,1859 (Zn) - 3,859**	0,90	25	20	20 – 30

<sup>1</sup> macronutriente (g kg<sup>-1</sup>) e micronutriente (mg kg<sup>-1</sup>); <sup>2</sup> Modelo estatístico da análise de regressão dos teores de nutrientes com os seus respectivos índices CND; <sup>3</sup> Ponto de Equilíbrio Nutricional, representa o teor do nutriente quando In = 0; <sup>4</sup> NC = Nível Crítico; <sup>5</sup> FS = Faixas de Suficiência, obtidas para os nutrientes pelos índices CND; Teste F significativo à 1% (\*\*).

Os índices diagnósticos criados pelo método CND-*clr* para a cultura do milho-doce, obtidos neste trabalho, são uma ferramenta útil a ser utilizada como medida preventiva ou corretiva para os desequilíbrios nutricionais, assim como obtidos para as culturas do alho (CUNHA et al., 2016), beterraba (BARŁÓG, 2016), cenoura (DEZORDI et al., 2016), banana (NDABAMENYE et al., 2013), milho-grão maduro (MODESTO et al., 2014) e cebola (YOUSUF et al., 2013).

Sugere-se que as faixas elaboradas nesse trabalho sejam utilizadas regionalmente ou por cultivos com as mesmas características das normas estabelecidas, buscando garantir melhores diagnósticos. Os balanços de nutrientes, reconstituídos por Modesto et al. (2014), a partir das relações duplas e multivariadas mostraram que o milho-grão maduro tem alta plasticidade fenotípica dependendo do solo e das condições climáticas; portanto, indo contra qualquer universalidade das normas de nutrientes padrão. As normas atuais de CND devem ser tratadas com cuidado fora da área pesquisada, para elaborar as normas, até que os conceitos de consumo de luxo e excesso de nutrientes sejam adequadamente tratados

matematicamente (PARENT et al., 2009). Mesmo entendimento sobre a importância da regionalização das concentrações ótimas de nutrientes foliares para as lavouras de laranja, cana-de-açúcar, banana e beterraba, foi obtido por Camacho et al. (2012), Santos et al. (2013), Ndabamenye et al. (2013) e Barlóg (2016), respectivamente.

**Tabela 6.** Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o milho-grão maduro e milho-doce, em função da folha diagnóstica, pelo método da Faixa de Suficiência

Nutrientes	Faixas de Suficiência			
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			
N	27-35 <sup>1</sup>	27,5-32,5 <sup>2</sup>	35-40 <sup>3</sup>	25-40 <sup>4</sup>
P	2,0-4,0	2,5-3,5	3,3-3,8	2,0-4,0
K	17-35	17-22	23-29	20-35
Ca	2,5-8	2,5-4	4-6	3-6
Mg	1,5-5,0	2,5-4,0	1,6-2,2	1,5-4,0
S	1,5-3,0	1,5-2,0	2,1-3,0	2,0-4,0
		-----mg kg <sup>-1</sup> -----		
B	10-25	15-20	9-18	10-20
Cu	6-20	6-20	9-14	4-10
Fe	30-250	50-250	122-220	30-200
Mn	20-200	50-150	17-49	30-100
Zn	15-100	15-50	18-34	20-40

<sup>1</sup>Cantarella e Rajj (1997): milho-grão maduro - terço central da folha situada na base da espiga principal, durante o florescimento masculino (V<sub>T</sub>);

<sup>2</sup>Malavolta et al. (1997): milho-grão maduro - limbo da folha oposta e abaixo da espiga, no florescimento feminino (R<sub>1</sub>), aparecimento dos estilos-estigma nas espigas;

<sup>3</sup>Gott et al. (2014): milho-grão maduro - limbo da folha oposta e abaixo da espiga, no florescimento feminino (R<sub>1</sub>), aparecimento dos estilos-estigma nas espigas;

<sup>4</sup>Maynard e Hochmuth (2007): milho-doce – folha completa oposta a espiga principal, durante o florescimento masculino (V<sub>T</sub>).

## 4 CONCLUSÃO

Os índices CND-*clr* obtidos para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, em milho-doce, permitem de forma eficiente determinar a deficiência, o excesso e o equilíbrio desses nutrientes.

Sequência de nutrientes que apresentaram maiores ocorrências de limitação pela falta aos que apresentaram maiores frequências de limitação pelo excesso na

população de baixa produtividade: Mg > Mn > K > N > S > Fe > Cu > Ca > Zn > P > B.

As faixas de suficiência obtidas para os nutrientes pelo índice CND-*clr* para o milho-doce são, em g kg<sup>-1</sup>: N = 28 - 31; P = 2,6 – 3,1; K = 20 - 23; Ca = 4 – 6; Mg = 1,6 – 2,0 e S = 1,7 - 2,2; e em mg kg<sup>-1</sup>: B = 6 – 18; Cu = 9 - 15; Fe = 128 - 230; Mn = 29 – 49 e Zn = 20 - 30.

## 5 REFERÊNCIAS

BARŁÓG, P. Diagnosis of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) nutrient imbalance by DRIS and CND-*clr* methods at two stages during early growth. **Journal of Plant Nutrition**, v.39, p.1-16, 2016.

BEVERLY, R. B. Prescient diagnostic analysis shows sufficiency range approach superior to DRIS for citrus. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 23, n. 17-20, p. 2641-2649, 1992.

BEVERLY, R. B. Re-evaluation reveals weaknesses of DRIS and sufficiency range diagnoses for wheat, corn and alfafa. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 24, p. 5-6, 1993a.

BEVERLY, R. B. DRIS diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 431-447, 1993b.

BEVERLY, R. B.; HALLMALK, W. B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 23, p. 2.633-2.640, 1992.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Milho verde e milho-doce. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, J. A.; QUAGGIO, A. M. C.; FURLANI (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 64-65.

CANTELMO, N. F.; FERREIRA, D. F. Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação Monte Carlo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 6, p. 1630-1636, 2007.

CRUZ, C. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MENESES, N. B.; CUNHA, T. P. L.; NOWAKI, R. H. D.; BARBOSA, J. C. Influence of amount and parceling of nitrogen fertilizer on productivity and industrial revenue of sweet corn (*Zea mays* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 895-900, 2015.

CUNHA, M. L. P.; AQUINO, L. A.; NOVAIS, R. F.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, P. M.; OLIVEIRA, T. F. Diagnosis of the nutritional status of garlic crops. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1-14, 2016.

DEZORDI, L R; AQUINO, L A; AQUINO, R F B A; CLEMENTE, J M; ASSUNÇÃO, N S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1-16, 2016.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. p. 353.

FILZMOSE, P.; HRON, K. Outlier detection for compositional data using robust methods. **Math. Geoscience**, v. 40, p. 233-248, 2008.

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1110–1115, 2014.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos quantitativos estatísticos**. 1ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008. p. 254.

HADI, A. Identifying multiple outliers in multivariate data. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 54, p. 761-771, 1992.

HADI, A. A modification of a method for the detection of outliers in multivariate samples. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 56, p. 393-396, 1994.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Science**, v. 41, p. 311-329, 1966.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: Jul. 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 809-814, 2001a.

KHIARI, L., PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 802-808, 2001b.

KÖPPEN-GEIGER, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica, MEX, 1948. p. 478.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. p. 319.

MAYNARD, D. N.; HOCHMUTH, G. J. **Knott's handbook for vegetable growers**. Hoboken: John Wiley e Sons. EUA, 2007.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; MELLO, Wanderley Jose de; CARMO, C. A.F.S. **Análise química de tecido vegetal. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ed. Brasília. EMBRAPA. 2009. v. 1, p. 194-233.

MODESTO, V. C.; PARENT, SE. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Foliar nutrient balance standards for maize (*Zea mays* L.) at high-yield level. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 497-507. 2014.

NDABAMENYE, T.; VAN ASTEN, P. J. A.; BLOMME, G.; VANLAUWE, B.; UZAYISENGA, B.; ANNANDALE, J. G.; BARNARD, R. O. Nutrient imbalance and yield limiting factors of low input East African highland banana (*Musa spp.* AAA-EA) cropping systems. **Field Crops Research**, v.147, p.68-78, 2013.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J.; ROZANE, D. E.; 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, n. 39, p. 1-10, 2013a.

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, p. 383-390, 2009.

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

PARENT, L. E.; PARENT, S.-É.; HÉBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; LAPOINTE, L. Mineral balance plasticity of cloudberry (*Rubus Chamaemorus*) in Quebec-Labrador. **American Journal of Plant Science**, v. 4, n. 7, p. 1508-1520, 2013c.

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

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013b.

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

PEREIRA FILHO, I. A.; TEIXEIRA, F. F. **O cultivo do milho-doce**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 298.

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 & Fundação IAC, 1997. p. 181.

RENÉ, W.; CÔTÉ, B.; CAMIRÉ, C.; BURGESS, M.; FYLES, J. W. Development and application of CVA, DRIS, and CND norms for three hybrids of *Populus maximowiczii* planted in southern Quebec. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, p. 118-142, 2013.

ROSS, S. M. **Introduction to probability and statistics for engineers and scientists**. New York: John Wiley & Sons, 1987. p. 492.

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, v. 44, n. 1, p. 102-112, 2016.

ROZANE, D. E.; MATTOS, D.; PARENT, S. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Meta-analysis in the selection of groups in varieties of citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, p. 1948-1959, 2015.

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.

SOUZA, H.A.; ROZANE, D.E.; AMORIM, D.A.; DIAS, M.J.T.; MODESTO, V.C.; NATALE, W. Assessment of nutritional status of guava seedlings using preliminary DRIS norms and sufficiency ranges. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, p. 1611-1618, 2015.

TOLOSANA-DELGADO, R.; VAN DEN BOOGART, K. G. “**Linear models with compositions in R**” in **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**. New York: John Wiley and Sons, 2011. p. 356–371.

VAN DEN BOOGAART, K. G.; TOLOSANA-DELGADO, R.; BREN M. **Compositions: compositional Data Analysis in R Package**. 2013. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=compositions>>. Acesso em: Abr. 2013.

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: (Eds.) PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPEL, 2016. p. 373-392.

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 arrozais irrigadas por inundação pelos métodos da CND e Chance Matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 145-156, 2013.

WAIREGI, L. W. I.; VAN ASTEN, P. J. A. Norms for multivariate diagnosis of nutrient imbalance in arabica and robusta coffee in the east African highlands. **Experimental Agriculture**, v. 48, n. 3, p. 448–460, 2012.



WALWORTH, J. L.; SUMNER, M. E. The Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Advances in Soil Science**, v. 6, p. 149–88, 1987.

YOUSUF, M. N.; AKTER, S.; HAQUE, M. I.; MOHAMMAD, N.; ZAMAN, M. S. Compositional nutrient diagnosis (CND) of onion (*Allium cepa* L.). Bangladesh. **Journal of Agricultural Research**, v. 38, n. 2, p. 271 -287, 2013.

## CAPÍTULO 4 – MÉTODO CND-*ilr* NA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO MILHO-DOCE

**RESUMO** – A avaliação do estado nutricional, através da análise foliar, é essencial para melhorar a diagnose do estado nutricional do milho-doce e traz contribuições para o planejamento da fertilização. A técnica multivariada CND-*ilr* é uma abordagem recente e referida como eficiente na interpretação do estado nutricional das plantas. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer as normas CND-*ilr* e as faixas de suficiência dos nutrientes na cultura do milho-doce. Realizaram-se coletas de dados (diagnose foliar e produtividade) de 179 áreas, de 2013 a 2015, no Estado de São Paulo, Brasil. As normas CND foram estabelecidas seguindo as relações multivariadas e transformação da relação log isométrica (*ilr*). O método demonstrou bom potencial para obtenção dos padrões nutricionais do milho-doce, com parâmetros de Acurácia, Sensibilidade, Especificidade, Valor Preditivo Negativo e Valor Preditivo Positivo de 70; 95; 45; 91 e 61%, respectivamente. As faixas adequadas de teores de nutrientes foliares pelo método CND-*ilr* para a cultura são, em g kg<sup>-1</sup>: N = 29 - 30; P = 3,0 – 3,2; K = 19 - 20; Ca = 5 – 5,3; Mg = 1,4 – 1,5 e S = 2,0 - 2,1; e em mg kg<sup>-1</sup>: B = 16 – 21; Cu = 11 - 13; Fe = 171 - 211; Mn = 24 - 37 e Zn = 27,0 - 30,0.

**Palavra-chave:** Análise de dados composicionais, composição nutricional, diagnose foliar, relação log isométrica, *Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*

### 1 INTRODUÇÃO

A avaliação do estado nutricional de plantas, através da análise foliar, como complemento à análise química do solo é fundamental para avaliar a diagnose do estado nutricional das culturas (YOUSUF et al., 2013), que, por sua vez, traz contribuições para o melhor planejamento da fertilização, vislumbrando-se alavancar as produtividades de maneira sustentável, reduzindo os impactos ambientais e maximizando o retorno econômico.

As interpretações dos resultados da análise foliar pelos métodos univariados, como o Teor Crítico (TC) e a Faixa de Suficiência (FS) são frequentemente os mais utilizados para diagnosticar o estado nutricional das culturas (ROZANE et al., 2016), no entanto não levam em consideração os efeitos de sinergismo, antagonismo e neutralidade dos nutrientes no tecido vegetal, ou seja, a interação entre os elementos (PARENT et al., 2016).

De acordo com Holland (1966), a estabilidade da interpretação das análises de tecido vegetal aumenta à medida que o enfoque bivariado é ampliado (relações duais) (REDFIELD, 1936) e, assim, progressivamente, às relações ternárias (LAGATU; MAUME, 1934) até idealmente abranger, mediante enfoque multivariado, toda a estrutura de variação da composição nutricional. Para Tolosana-Delgado e Van Den Boogart (2011), dados de composição nutricional são intrinsecamente de natureza multivariada, sendo que cada nutriente não pode ser interpretado sem ser relacionado aos outros.

Desse modo, o uso de abordagens mais eficientes e abrangentes, que possibilitem obter melhoria na interpretação do estado nutricional da planta e alcançar bons resultados, como o método CND (Composição da Diagnose Nutricional), apresenta aplicabilidade e grande relevância (FILZMOSER; HRON, 2011; PARENT et al., 2013 a,b; CUNHA et al., 2016).

Nessa técnica multivariada duas abordagens são mais utilizadas, a relação log centralizada (*clr*) (AITCHISON, 1986) e a relação log isométrica (*ilr*) (EGOZCUE et al., 2003; EGOZCUE; PAWLOWSKY-GLAHN, 2005).

A abordagem CND-*clr* preserva a distância Euclidiana, mas gera D variáveis a partir da composição D partes, conseqüentemente mantendo informações redundantes que produz uma matriz de variância singular (MODESTO et al., 2014). A abordagem CND-*ilr* não só se encaixa perfeitamente a geometria Euclidiana, mas também pode ilustrar hierarquicamente as relações de nutrientes como saldos binários organizados entre grupos de nutrientes (balanços) para descrever o sistema em estudo (PARENT, 2011).

O conceito CND-*ilr* é apresentado como o mais adequado para a realização de análise multivariada (FILZMOSER et al., 2009) e foi testado com sucesso nos estudos de nutrição de plantas (PARENT et al., 2013b,c; MODESTO et al., 2014; ROZANE et al., 2015; NOWAKI et al., 2017).

O milho-doce (*Zea mays* L. convar. *saccharata* var. *rugosa*) é uma hortaliça de elevado potencial de produção e exportação (CRUZ et al., 2015) e demanda estudos sobre a diagnose foliar como ferramenta de auxílio às recomendações de fertilizantes, sob diferentes condições edafoclimáticas e com alto potencial produtivo.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo estabelecer as normas CND-*ilr* e as faixas de suficiência dos nutrientes na cultura do milho-doce.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação do estado nutricional da cultura do milho-doce, no período de 2013 a 2015, foram realizadas coletas de folhas diagnósticas e produtividades de 179 áreas de produção, de municípios paulistas de Guaíra, Miguelópolis, Barretos, Jaboticabal e mineiros de Sacramento, Perdizes, Nova Ponte, Conceição das Alagoas e Planura. O maior número de coletas (n = 120) concentrou-se na região de Guaíra/SP, grande polo produtor, devido à existência de indústria processadora.

O clima das regiões amostradas pode ser classificado como tipo Aw, tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, exceto para os municípios Sacramento/MG, Perdizes/MG e Nova Ponte/MG que possuem clima classificado como Cwa, subtropical de inverno seco e verão quente pela classificação de Köppen-Geiger (1948). A Tabela 1 apresenta as médias das temperaturas médias mínima, máxima e da precipitação pluvial, na série histórica (1971-2014) dos municípios avaliados no presente estudo.

**Tabela 1.** Localidades e dados climáticos (1971-2014) da origem das amostras

Município	T mín. (°C) <sup>1</sup>	T máx. (°C) <sup>2</sup>	Precip. <sup>3</sup>
Guaíra/SP	16,9	29,4	1374
Miguelópolis/SP	17,0	29,3	1423
Barretos/SP	16,5	29,0	1309
Jaboticabal/SP	16,8	28,9	1424
Sacramento/MG	12,9	26,6	1580
Perdizes/MG	14,5	25,8	1603
Nova Ponte/MG	15,0	26,6	1470
Conceição das Alagoas/MG	17,1	29,9	1412
Planura/MG	17,3	30,3	1386

<sup>1</sup>Temperatura mínima média anual; <sup>2</sup>Temperatura máxima média anual; <sup>3</sup> Precipitação pluvial (mm ano<sup>-1</sup>); Fonte: Dados da Rede do INMET.

Contemplando as áreas de produção comercial (n = 76), foi adicionado ao banco de dados 103 resultados de experimentos com fertilização nitrogenada,

fosfatada e potássica em milho-doce para indústria conduzidos nos municípios de Guaíra e Jaboticabal, SP, nos anos de 2013, 2014 e 2015.

O ensaio com doses de potássio foi realizado no período de 24/4 a 25/8/2014, no município de Guaíra. Durante o período experimental, a temperatura média e a precipitação pluvial acumulada foram 20°C e 107 mm, respectivamente. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de seis doses de potássio (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), utilizando como fonte o cloreto de potássio. Conforme Cantarella e Raij (1997), na semeadura foram fornecidos 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 30 dias depois, quando as plantas estavam no estágio de desenvolvimento V<sub>8</sub>, foram aplicadas em cobertura as doses restantes dos tratamentos, exceto o tratamento com dose zero. A colheita do híbrido de milho superdoce GSS 41243 da Syngenta foi realizada aos 123 dias após a semeadura (DAS).

O experimento com fertilização fosfatada também foi realizado no período de 24/04 a 25/08/2014, no município de Guaíra, em sucessão a cultura da soja. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 5 repetições. Os fatores avaliados foram cinco doses de fósforo (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) utilizando a fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, superfosfato triplo, com 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicado no sulco, junto aos demais fertilizantes. O híbrido de milho superdoce GSS 41243 (Syngenta) foi colhido aos 123 DAS.

O experimento com doses de nitrogênio foi realizado no período de 24/08 a 24/11/2015, em Jaboticabal. Durante o período experimental, as médias das temperaturas mínima e máxima foram 18,7 e 31,9°C; as médias das umidades relativas máxima e mínima foram 86,4 e 37,5%; e a média da precipitação pluvial foi 4,7 mm. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de quatro doses de N (0, 120, 240 e 360 kg ha<sup>-1</sup>), utilizando como fonte a ureia. O N foi parcelado três vezes (1/3 aos três dias após a emergência - DAE, 1/3 vinte dias após a primeira aplicação e 1/3 vinte dias após a segunda aplicação). O híbrido de milho superdoce utilizando foi o GSS 4000 da Syngenta e a colheita foi realizada aos 92 dias após a semeadura.

As áreas avaliadas foram de distintos níveis tecnológicos, bem como solos com fertilidade baixa, média, alta e muito alta, segundo classificação de Raij et al. (1997), a fim de proporcionar ampla faixa de teores foliares e de produtividades.

Para os talhões amostrados em Guaíra, Miguelópolis e Barretos, todos no Estado São Paulo (SP), e Conceição das Alagoas, no Estado de Minas Gerais (MG), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico. O solo de Jaboticabal/SP recebeu classificação de Latossolo Vermelho Eutroférico. Para os municípios de Nova Ponte/MG e Sacramento/MG a classificação do solo foi o de Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico, enquanto o solo de Perdizes/MG recebeu a classificação de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). Nos talhões amostrados, de modo geral, o solo apresentou textura argilosa.

Para todas as áreas amostradas, tanto comerciais quanto experimentais, a cultura do milho-doce foi conduzida com espaçamento entre fileiras de 0,50 m e de 0,25 m entre plantas. Em todos os campos de produção a irrigação foi realizada por pivô central. O controle de pragas, doenças e de plantas daninhas, realizado conforme recomendação para a cultura (PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

Para a determinação do estado nutricional, foram amostrados campos comerciais com diferentes cultivares ('Tropical Plus', 'GSS 41243', '066', 'SV 006', 'SV 9298' e 'GSS 4000'). Cada talhão comercial participou com uma amostra composta, resultante de 30 subamostras simples. A amostragem das folhas foi realizada durante o florescimento masculino ( $V_T$ ), coletando-se o terço central da folha (incluindo a nervura central) situada na base da espiga principal (CANTARELLA; RAIJ, 1997). O material vegetal foi lavado com água corrente, detergente a 1% e água deionizada. Em seguida, foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 60-65°C, até atingir massa constante. Uma vez seco, o material vegetal foi moído, em moinho tipo Willey, utilizando-se uma peneira com malha de 0,1 mm. Posteriormente, as amostras foram analisadas quanto aos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) de acordo com métodos propostos por Miyazawa et al. (2009).

Quando as plantas encontravam-se no estágio  $R_3$ , período em que se realiza a colheita do milho-doce, a produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) de cada talhão foi determinada a partir da massa de todas as espigas colhidas com palha em 20  $m^2$ , com três repetições, e extrapolada para produtividade por ha.

Para o estabelecimento das normas CND-*ilr*, primeiramente, foi realizado a exclusão dos *outliers* da base de dados (179 áreas), conforme Parent et al. (2013a), em seguida observada a distribuição Gaussiana, pelo teste de Shapiro-Wilk a 1 % de probabilidade de erro.

No estabelecimento das normas CND-*ilr*, os teores de macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) presentes no tecido foliar, expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$ , e produtividade ( $\text{t ha}^{-1}$ ) foram processados seguindo as relações multinutriente de acordo com as equações de Egozcue et al. (2003) e Egozcue e Pawlowsky-Glahn (2005), apresentadas por Parent et al. (2013a, b), como segue:

$$ilr_j = \sqrt{\frac{n_j^+ n_j^-}{n_j^+ + n_j^-}} \ln \frac{g(c_j^+)}{g(c_j^-)}$$

em que:  $n_j^+$  é o número de componentes no numerador (r),  $n_j^-$  é o número de componentes no denominador (s),  $g(c_j^+)$  é a média geométrica entre os componentes no numerador, e  $g(c_j^-)$  é a média geométrica entre os componentes no denominador.

O coeficiente,  $\sqrt{\frac{n_j^+ n_j^-}{n_j^+ + n_j^-}}$ , permite balanços ortogonais normalizados em balanços ortonormais. Valores positivos de CND-*ilr* indicam que o grupo positivo possui maior peso que o outro grupo, enquanto valores nulos indicam o mesmo peso.

Foi calculado o valor do componente *Fv* (*Filling value* ou valor de enchimento, em  $\text{mg kg}^{-1}$ ), segundo a equação:

$$Fv = 1.000.000 - (A + B + \dots + n)$$

em que: 1.000.000 é o valor máximo; a este valor é subtraído a somatória dos nutrientes, todos expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$ . Ao final, foram utilizados 12 componentes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e *Fv*), para os cálculos da abordagem CND-*ilr*.

Posteriormente foi estabelecida a partição binária sequencial (PBS) (Tabela 2), envolvendo os 12 componentes utilizados (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e *Fv*), para compor as 11 coordenadas *ilr* (D-1) (PARENT et al., 2013b). A PBS é

arranjada de forma a facilitar a interpretação dos balanços, em relação aos objetivos deste estudo. Embora as distorções numéricas sejam evitadas quando conduzimos análises estatísticas, balanços selecionados randomicamente (sem conhecimento prévio) não são informativos em termos de arquitetura do sistema, pois, qualquer sistema tem uma hierarquia (por exemplo, dados relativos aos tecidos tem organização intrínseca para a planta sobreviver) e, os balanços podem ser organizados para representar e interpretar o sistema em estudo. Desse modo, os contrastes da PBS foram determinados de acordo com o conhecimento teórico sobre a cultura, no que diz respeito à nutrição e na análise bi-plots. Vale ressaltar que, independente da escolha dos balanços (*ad hoc*), através da Distância de Mahalanobis (DM), os valores finais das coordenadas CND-*ilr* serão sempre os mesmos (a abordagem CND-*ilr* projeta os dados de composição em um espaço real e a PBS define o sistema cartesiano) (MARCHAND et al., 2013).

**Tabela 2.** Detalhamento da partição binária sequencial (PBS) para os dados de milho-doce

<i>ilr</i>	Balanços	Mg	K	N	P	S	Ca	B	Zn	Mn	Cu	Fe	Fv <sup>1</sup>	r	s
1	[S   N]	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	[P   N, S]	0	0	-1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	2	1
3	[Mg   Ca]	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	1
4	[Ca, Mg   K]	1	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
5	[K, Ca, Mg   N, S, P]	1	1	-1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	3	3
6	[Zn   N, S, P, K, Ca, Mg]	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0	0	0	0	6	1
7	[Mn   Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	1	1
8	[B   Mn, Cu]	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	0	2	1
9	[Fe   Mn, Cu, B]	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	1	0	3	1
10	[Cu, Mn, B, Fe   N, S, P, K, Ca, Mg, Zn]	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	0	7	4
11	[Fv <sup>1</sup>   N, S, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, B, Fe]	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	11	1

<sup>1</sup>r e <sup>1</sup>s: numerador e denominador, respectivamente; <sup>1</sup>Fv: *Filling value* ou valor de enchimento.

Como resultado da ortogonalidade, a Distância de Mahalanobis (DM) pode ser calculada como o índice de desequilíbrio de nutrientes, através do espaço Euclidiano (PARENT et al., 2009), como segue:

$$DM = \sqrt{(ilr_j - ilr_j^*)^T COV^{-1}(ilr_j - ilr_j^*)}$$



em que:  $\bar{y}_j^*$  é a média; COV é a matriz de covariância da população de referência, isolada após o iterativo método de Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977). O necessário procedimento do método Cate-Nelson maximiza a soma dos quadrados entre duas partições da seguinte forma:

$$SS = \left[ \frac{(\sum_{i=1}^k Y_i)^2}{k} + \frac{(\sum_{j=k+1}^n Y_j)^2}{(n-k)} \right] - CF$$

em que:  $Y$  é a produtividade,  $k$  é uma contagem elementar que começa com a primeira observação ordenada acima de  $n$ , o número total de observações e  $CF$  é um fator de correção calculado como:  $(\sum_{k=1}^n Y_k)^2/n$ .

A classificação das subpopulações determinadas na partição de Cate-Nelson (NELSON; ANDERSON, 1977) de acordo com o descrito por Parent et al. (2013b), na qual cada quadrante da partição é classificado como:

- Verdadeiro Negativo (VN): amostras com alta produtividade corretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). Estado nutricional adequado, classificada como “população de referência”.
- Falso Positivo (FP: erro tipo I): amostras com alta produtividade incorretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM acima do valor crítico). FP representa amostras com consumo de luxo de nutrientes, alta eficiência de uso dos mesmos ou resultantes de contaminação.
- Falso Negativo (FN: erro tipo II): amostras com baixa produtividade incorretamente identificadas como equilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico). FN representa amostras com influência em outros fatores de produção (por exemplo, clima) sobre o desempenho da cultura.
- Verdadeiro Positivo (VP): amostras com baixa produtividade corretamente identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM acima do valor crítico). Pelo menos um nutriente está causando o desequilíbrio.

Posteriormente foram calculados os seguintes fatores:

- A Acurácia (Acc) é a probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada, calculado como  $(VN + VP) / (VN + FN + VP + FP)$ .

- A Sensibilidade (ou *Sensitivity*) é a probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada, calculada como  $TP / (TP + FN)$ .
- O Valor Preditivo Positivo (*PPV*) é a probabilidade de um diagnóstico de desequilíbrio retornar a um baixo desempenho, calculado como  $VP / (VP + FP)$ .
- A Especificidade (ou *Specificity*) é a probabilidade de uma observação de elevada produtividade ser equilibrada, calculado como  $TN / (TN + FP)$ .
- O Valor Preditivo Negativo (*NPV*) é a probabilidade de um diagnóstico equilibrado retornar a um alto desempenho, calculado como  $VN / (VN + FN)$ .

O *NPV*, a Acurácia e a Sensibilidade identificam o potencial de deficiência de nutrientes e indicam que alguns outros fatores podem limitar o crescimento da planta. O *PPV* e a Especificidade detectam potenciais problemas relacionados ao consumo de luxo de nutriente ou contaminação.

O procedimento de Cate-Nelson é executado até que os valores dos parâmetros supracitados não se alterem mais. E entre estes, a acurácia é o primeiro a ser levado em consideração, por englobar todos os quadrantes (PARENT et al., 2013b), seguido da Sensibilidade, *PPV*, Especificidade e *NPV*.

Um vez obtidos as coordenadas *CND-ilr* da população de referência, as mesmas foram re-transformadas para a abordagem *CND-clr* e posteriormente em concentrações (PARENT et al., 2013b), através do *software* CoDaPack, versão 2.01.15 (COMAS-CUFÍ; THIÓ-HENESTROSA, 2011). O ponto de corte inicial, para o cálculo da partição de Cate-Nelson, como também para a abordagem *CND-clr* seguiu a metodologia apresentada por Khiari et al. (2001).

As normas *CND-ilr* (média e desvio-padrão) foram calculadas a partir das coordenadas *CND-ilr*, segundo a população de referência (*VN*). Para o cálculo das faixas de suficiência (*FS*), foi adotado o intervalo de confiança (*IC*) (0,95), conforme metodologia proposta por Parent et al. (2013a, b). O nível crítico foi considerado como limite inferior da *FS*.

As análises estatísticas foram realizadas pelo *Software* R (VAN DEN BOOGAART et al., 2013).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A exclusão de *outliers* do banco de dados (PARENT et al., 2013a), 12 unidades, foi realizada após a transformação dos dados para às coordenadas CND-*ilr*. Para as 167 amostras restantes, observou-se para a variável produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) normalidade dos dados, conforme teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,927$ ;  $p = 0,087$ ), em seguida, essas foram processadas para geração das normas de referência para diagnose foliar do estado nutricional da cultura do milho-doce pelo método CND-*ilr*. A normalidade dos dados amostrais é uma condição exigida para a realização de muitas inferências válidas a respeito de parâmetros populacionais (CANTELMO; FERREIRA, 2007).

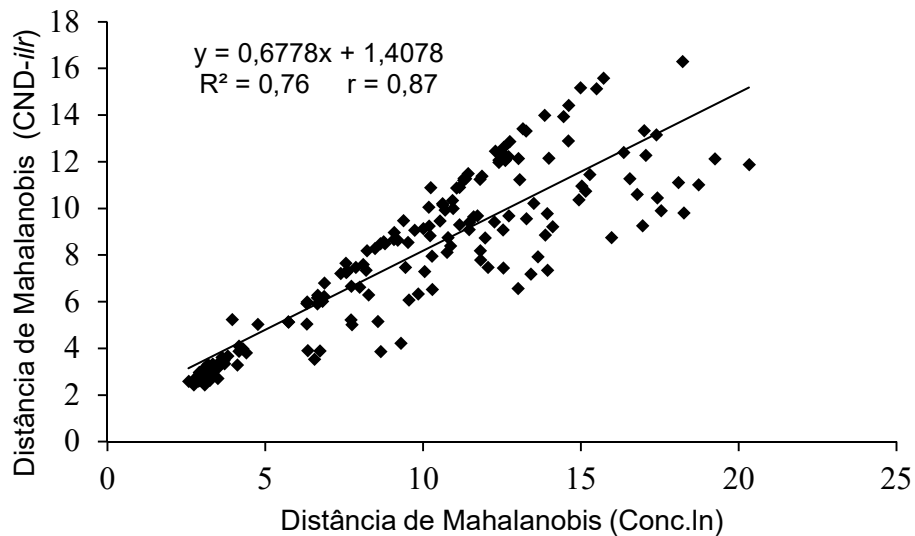
A partir dos dados dos teores de nutrientes presentes no tecido foliar, bem como a metodologia aplicada, foi identificado a população de referência nutricional, as limitações nutricionais, posteriormente, através dessas amostras, calculou-se o intervalo de confiança e, por fim, estabelecido os padrões nutricionais.

A Distância de Mahalanobis (DM) é uma distância multivariada que tem distribuição qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e pode ser utilizada como medida do desequilíbrio de nutrientes nas culturas (HADI 1992, 1994). A DM, calculada usando *ilr*, como a medida de desequilíbrio de nutrientes de referência é usada para determinar o grau de tendência metodológica da abordagem diagnóstica (FILZMOSEER et al., 2009), pois leva em consideração a existência de correlações entre os caracteres analisados por meio da matriz de variâncias e covariâncias (LINDEN, 2009). Filzmoser e Hron (2008) utilizaram a DM para identificar *outliers* em conjuntos de dados de composicionais. Uma vez que a DM fornece uma zona de rejeição probabilística, essa pode ser usada para detectar amostras desequilibrados, como *outliers*, em conjuntos de dados de nutrientes de culturas (PARENT et al., 2009).

As DM calculadas a partir das transformações  $\ln$  (logaritmo neperiano) e das coordenadas CND-*ilr*, apresentaram alta correlação,  $r = 0,87$  ( $R^2 = 0,76$ ,  $p < 0,01$ ) (Figura 1). Tal fato demonstra que a DM, calculada segundo as coordenadas CND-*ilr*, é um índice de desequilíbrio nutricional confiável (PARENT et al., 2009; ROZANE et al., 2013) para avaliação do estado nutricional, devido à alta correlação existente entre

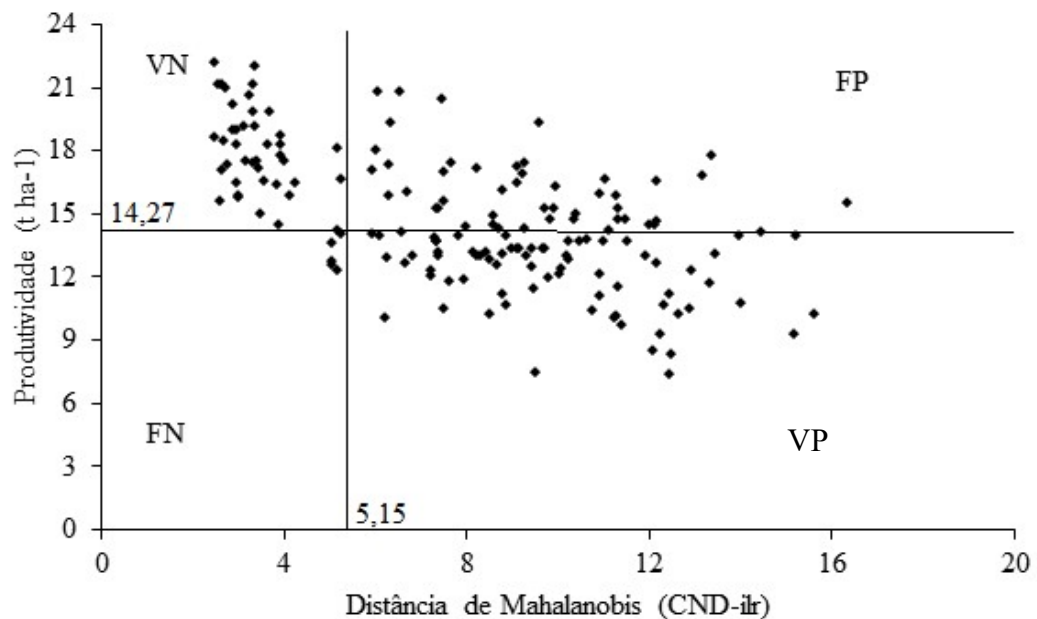
o CND-*ilr* e os teores nutricionais. Demonstra-se que o *ilr* é geometricamente uma técnica apropriada de transformação de dados para análises composicionais

Como resultado da boa correlação com a DM, Parent et al. (2016) descrevem o *ilr* como um método adequado para diagnosticar nutrientes em olerícolas, como já havia sido constatado para outras culturas (KHIARI et al., 2001a; PARENT et al., 2009).



**Figura 1.** Correlação entre a Distância de Mahalanobis CND-*ilr* e a Distância de Mahalanobis Conc. In.

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., 2014). O procedimento da partição de Cate-Nelson, após as transformações dos dados (coordenadas CND-*ilr*), foi utilizado a fim de dividir as amostras em populações no banco de dados de validação (PARENT et al., 2013b), e assim identificar os quadrantes VN, FN, VP e FP (Figura 2). O ponto de corte para à DM (valor crítico) e produtividade ( $t\ ha^{-1}$ ) foi de 5,15 e 14,27  $t\ ha^{-1}$ , respectivamente.



**Figura 2.** Partição de Cate-Nelson para os dados de análise foliar de milho-doce (167 amostras). VN = verdadeiro negativo; FP = falso positivo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo. Acurácia = 70%, Sensibilidade = 95%, Especificidade = 45%, NPV = 91%, PPV = 61%.

Observando a Figura 2, identificamos os dados no canto superior esquerdo (VN), que representam as plantas de milho-doce sendo diagnosticadas como equilibradas nutricionalmente e com alta produtividade (população de referência). Os dados no canto inferior direito (VP) representam plantas diagnosticadas com desequilíbrio nutricional e com baixo rendimento. O canto inferior na parte esquerda da Figura 2 (FN) compreende dados de plantas em equilíbrio nutricional, mas de baixa produtividade devido à presença de outros fatores não nutricionais ou efeitos aleatórios.

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

A validação das normas CND é tradicionalmente realizada por esquemas fatoriais, baseados em ensaios de calibração (SUMNER, 1977; KHIARI et al., 2001;

ELANGER et al., 2005). Um modo de se realizar a validação é determinar se as frequências dos nutrientes mais limitantes são aleatorizadas ou não, pelo teste do qui-quadrado (SILVA et al., 2004). Neste estudo, as normas de validação foram realizadas empregando o procedimento de Cate-Nelson (MARCHAND et al., 2013; PARENT et al., 2013c; BARLÓG, 2016; NOWAKI et al., 2017).

A probabilidade de uma observação ser corretamente identificada como equilibrada ou desequilibrada nesse banco de dados (Acurácia), através desse método de avaliação do estado nutricional, foi de 70%. O ideal é que a acurácia seja acima de 50% (BEVERLY; HALLMARK, 1992) ou acima de 68% (WADT; LEMOS, 2010), onde valores abaixo indicam que os diagnósticos falsos prevalecem aos diagnósticos corretos, caso que deve ser evitado.

A produtividade diminui quando os diagnósticos são falsos (FN e FP). No diagnóstico de falsa suficiência, a produtividade não aumenta, pois o nutriente que estava deficiente não foi aplicado devido ao diagnóstico falso.

Por outro lado, em casos de falsa deficiência, o nutriente é aplicado, quando na verdade, já estava em condições adequadas e isso pode manter a produtividade ou, na pior das hipóteses, diminuir a produtividade por efeito de toxidez na planta ou por influência na absorção de outros nutrientes exigidos pela planta. Neste último caso, além de diminuir os ganhos econômicos ao produtor, pode ocasionar danos ao meio ambiente devido à aplicação em excesso de algumas fontes de nutriente (BEVERLY; HALLMARK, 1992).

Enquanto a Especificidade (probabilidade de uma observação de elevada produtividade ser equilibrada) e a Sensibilidade (probabilidade de uma observação de baixo desempenho estar desequilibrada), para a população de milho-doce avaliada os índices foram de 95% e 45%, respectivamente.

Das amostras classificadas com diagnóstico de desequilíbrio e com baixo desempenho produtivo (PPV), 61% foram corretamente identificadas. Quanto às amostras em equilíbrio e com alta produtividade (NPV), acima de 14,27 t ha<sup>-1</sup>, 91% dessas foram corretamente classificadas.

Com a cultura do tomate, Nowaki et al. (2017) obtiveram acurácia de 91%, sensibilidade de 84%, especificidade de 78%, com valor máximo para PPV de 75% e mínimo para NPV (86%). Com a cultura da manga, Parent et al. (2013b) obtiveram

acurácia de 92%, com valor máximo para PPV de 99% e para NPV de 65%. Em ambos trabalhos os resultados foram classificados como bons pelos autores.

Considerando os quatro quadrantes diferenciados pela partição de Cate-Nelson, as amostras identificadas são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Detalhamento da divisão das amostras de milho-doce dentro dos quadrantes VN (verdadeiro negativo), FP (falso positivo), FN (falso negativo) e VP (verdadeiro positivo)

Quadrantes	Experimentos			Campos de Produção	Total	%
	N	P	K			
VN*	20	9	0	10	39	23,35
FP	5	9	1	32	47	28,15
FN	1	2	0	1	4	2,40
VP	0	25	20	32	77	46,10
Total	26	45	21	75	167	100

\*População de referência.

Nota-se na Tabela 3 que 23,35% (39 unidades) das amostras foram classificadas como VN, caracterizada como a população de referência nutricional, e que esta foi representada por 20 e 9 amostras dos experimentos de N e P, respectivamente, e apenas 10 amostras dos campos de produção comercial.

No grupo classificado como Verdadeiro Positivo (VP), ou seja, que contém as amostras com baixa produtividade identificadas como desequilibradas nutricionalmente (DM abaixo do valor crítico), situaram-se 46,10% (77 amostras) das amostras analisadas. Os campos de produção comercial sugerem que não estão adotando práticas de fertilização adequadas, uma vez que 42,66% de suas amostras foram classificadas como desequilibradas nutricionalmente e por consequência de baixa produtividade.

Apesar do CND proporcionar a comparação de amostras com talhões de alta produtividade, a experimentação de calibração, é um dos instrumentos de pesquisa que devem continuar a ser adotados em busca do aumento da produtividade, visto que inserem no banco de dados informações precisas quanto à relação entre teores nutricionais e produtividades (ensaios variam em somente as doses de nutrientes).

As normas, médias e o desvios-padrão, das coordenadas CND-*ilr* seguem apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Normas, médias ( $\bar{x}$ ) e desvios-padrão ( $\sigma$ ), das coordenadas CND-*ilr* a partir das concentrações de nutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

<i>ilr</i>	Balanços	$\bar{x}$	$\sigma$
1	[S   N]	1,90	0,13
2	[P   N, S]	0,77	0,14
3	[Mg   Ca]	0,82	0,17
4	[Ca, Mg   K]	1,61	0,22
5	[K, Ca, Mg   N, S, P]	0,05	0,18
6	[Zn   N, S, P, K, Ca, Mg]	4,92	0,22
7	[Mn   Cu]	-0,74	0,34
8	[B   Mn, Cu]	0,27	0,56
9	[Fe   Mn, Cu, B]	-2,02	0,30
10	[Cu, Mn, B, Fe   N, S, P, K, Ca, Mg, Zn]	6,97	0,23
11	[Fv <sup>1</sup>   N, S, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, B, Fe]	-7,17	0,11

<sup>1</sup>Fv: Filling value ou valor de enchimento.

Apesar da metodologia CND-*ilr* ser considerada promissora para diagnóstico do estado nutricional de plantas (PARENT et al., 2013b,c; MODESTO et al., 2014; ROZANE et al., 2015), é evidente a complexidade das coordenadas *ilr*, no que diz respeito a sua interpretação, no entanto, é de suma importância que sejam realizadas tais transformações para evitar as correlações espúrias (EGOZCUE et al., 2003; EGOZCUE; PAWLOWSKY-GLAHN, 2005; MATEU-FIGUERAS et al., 2011). Tal transformação (*ilr*) é dada como a melhor metodologia para identificação da população de referência (PARENT et al., 2013a,b; BAXTER, 2015). Contudo, para maior compreensão da representatividade de todas as coordenadas *ilr*, estas são retransformadas (PARENT et al., 2013b), para obtenção dos valores de concentração. Nesse sentido, após as coordenadas CND-*ilr* serem retransformadas, foi realizado o teste t ( $p \leq 0,05$ ), entre os quadrantes VN, FN, VP e FP, para os nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), Fv e a produtividade (Tabela 5).

É possível observar que entre os grupos VN e FN, a única variável significativa foi a produtividade (PT). Ambas populações encontram-se abaixo do valor crítico da Distância de Mahalanobis, ou seja, equilibrada nutricionalmente, e conforme Parent et al. (2013b) a baixa produtividade neste grupo (FN) é dada por fatores não nutricionais.

Quando comparados os grupos VN e VP nota-se, também, o efeito significativo entre as produtividades. No grupo VP a baixa produtividade média é justificada pelo desequilíbrio nutricional, onde os nutrientes P, Ca, S, B, Cu e Zn caracterizam-se pelo excesso, já os nutrientes K e Mg apresentaram-se limitantes para o bom equilíbrio



nutricional do milho-doce pela deficiência. O maior valor de *Fv* em VP caracteriza-se pela menor quantidade de nutrientes inorgânicos nas amostras foliares que compuseram esse grupo, indicando a necessidade de aumentar, no tecido amostrado, a concentração de nutrientes que apareceram em concentrações muito baixas.

**Tabela 5.** Análise estatística comparando as concentrações médias dos nutrientes, *Fv* e a produtividade (PT) do grupo VN aos demais grupos (FN, FP e VP)

Nutrientes	VN <sup>1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
		FN	VP	FP
N	30,0	27,3 <sup>ns</sup>	29,9 <sup>ns</sup>	28,6*
P	2,7	2,9 <sup>ns</sup>	3,2**	2,9*
K	22,0	21,8 <sup>ns</sup>	19,4**	19,6**
Ca	4,6	5,2 <sup>ns</sup>	5,2**	5,4**
Mg	1,8	1,7 <sup>ns</sup>	1,5**	1,6 <sup>ns</sup>
S	1,9	2,2 <sup>ns</sup>	2,1**	2,0 <sup>ns</sup>
<i>Fv</i>	934,22	936,1 <sup>ns</sup>	935,7**	936,8**
		----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
B	11,2	15,1 <sup>ns</sup>	20,6**	14,3*
Cu	11,2	12,7 <sup>ns</sup>	12,9*	12,8*
Fe	180,4	186,6 <sup>ns</sup>	202,8 <sup>ns</sup>	205,1 <sup>ns</sup>
Mn	44,1	31,9 <sup>ns</sup>	35,5 <sup>ns</sup>	40,8 <sup>ns</sup>
Zn	22,7	27,7 <sup>ns</sup>	29,1**	30,4**
PT (t ha <sup>-1</sup> )	18,2	12,8**	12,2**	16,4**

<sup>1</sup>População de referência; VN = verdadeiro negativo; FN = falso negativo; VP = verdadeiro positivo; FP = falso positivo; *Fv* = valor de enchimento; ns, \*, \*\*: diferença não significativa, significativo a 0,05 e 0,01% de probabilidade, respectivamente, comparado ao grupo VN.

No grupo FP as amostras são classificadas como de alta produtividade, acima de 14,27 t ha<sup>-1</sup>, e desequilibradas nutricionalmente (DM acima do valor crítico). Parent et al. (2016) descreve que a população FP representa amostras com consumo de luxo de nutrientes ou alta eficiência de uso dos mesmos. No entanto, não se observou consumo de luxo de nutrientes, uma vez que o *Fv* de FP foi superior ao do VN.

Os valores da Distância de Mahalanobis (*y*), obtidos de cada talhão, em função da produtividade (*x*) ajustaram-se à equação  $y = 18,1343 - 0,6826x$  ( $p \leq 0,01$ ), com o coeficiente de correlação de Pearson,  $r = 0,61$  ( $R^2 = 0,38$ ). Desse modo, o modelo de regressão demonstra que a Distância de Mahalanobis, de forma moderada (GUIMARÃES, 2008), tem capacidade em prever o estado nutricional do milho-doce, onde 38% da variação da produtividade da população estudada pode estar associada ao balanço nutricional calculado pelo método CND-*ilr*.

A avaliação do estado nutricional de plantas é uma ferramenta fundamental para a construção e manutenção de sistemas de produção eficientes (WAIREGI et al., 2012; SOUZA et al., 2015), pois permite avaliar o desempenho das adubações e melhorar o manejo da fertilidade do solo (ROZANE et al., 2016), sendo necessário definir padrões seguros para ajustar as necessidades da cultura (GOTT et al., 2014). Na Tabela 6 são apresentados os intervalos de confiança ou faixas de suficiência (FS), calculados a partir de cada concentração média dos nutrientes (retransformação das coordenadas CND-*ilr*), para os grupos VN na cultura do milho-doce. Considerou-se como o teor do nutriente no nível crítico o limite inferior da faixa de suficiência.

**Tabela 6.** Intervalo de confiança das concentrações dos nutrientes obtidos a partir da retransformação das coordenadas CND-*ilr*, das amostras dos grupos VN, em milho-doce

Nutrientes	VN <sup>1</sup>	
	Mínimo	Máximo
N g kg <sup>-1</sup>	29	31
P g kg <sup>-1</sup>	2,6	2,8
K g kg <sup>-1</sup>	21	22
Ca g kg <sup>-1</sup>	4	5
Mg g kg <sup>-1</sup>	1,7	1,9
S g kg <sup>-1</sup>	1,8	2,0
B mg kg <sup>-1</sup>	10	12
Cu mg kg <sup>-1</sup>	11	12
Fe mg kg <sup>-1</sup>	169	186
Mn mg kg <sup>-1</sup>	37	45
Zn mg kg <sup>-1</sup>	20	24

<sup>1</sup>População de referência; VN = verdadeiro negativo.

Na tabela 7 estão apresentadas as faixas de teores foliares, consideradas adequadas para o milho-grão maduro e para o milho-doce encontradas na literatura. No presente trabalho, para o grupo VN, as FS estimadas para todos os nutrientes apresentaram menores amplitudes que as relatadas na literatura para milho-grão maduro, considerando-se o mesmo critério de amostragem (CANTARELLA; RAIJ, 1997) (Tabela 7). A redução da amplitude das faixas colabora com diagnósticos mais precisos, minimizando a probabilidade de haver talhões de baixa produtividade com teores na faixa ótima (RENÉ et al., 2013; GOTT et al., 2014), ou seja, aumenta-se o poder de distinção entre lavouras equilibradas e desequilibradas. No entanto, os pequenos intervalos gerados para alguns nutrientes podem levar a um diagnóstico

errado devido ao erro que surge na análise da determinação do conteúdo foliar (erros laboratoriais) (DEZORDI et al., 2016).

**Tabela 7.** Teores foliares de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para o milho-grão maduro e milho-doce, em função da folha diagnóstica, pelo método da Faixa de Suficiência

Nutrientes	Faixas de Suficiência				
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
N	27-35 <sup>1</sup>	27,5-32,5 <sup>2</sup>	35-40 <sup>3</sup>	25-40 <sup>4</sup>	
P	2,0-4,0	2,5-3,5	3,3-3,8	2,0-4,0	
K	17-35	17-22	23-29	20-35	
Ca	2,5-8	2,5-4	4-6	3-6	
Mg	1,5-5,0	2,5-4,0	1,6-2,2	1,5-4,0	
S	1,5-3,0	1,5-2,0	2,1-3,0	2,0-4,0	
		-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
B	10-25	15-20	9-18	10-20	
Cu	6-20	6-20	9-14	4-10	
Fe	30-250	50-250	122-220	30-200	
Mn	20-200	50-150	17-49	30-100	
Zn	15-100	15-50	18-34	20-40	

<sup>1</sup>Cantarella e Rajj (1997): milho-grão maduro - terço central da folha situada na base da espiga principal, durante o florescimento masculino (V<sub>T</sub>);

<sup>2</sup>Malavolta et al. (1997): milho-grão maduro - limbo da folha oposta e abaixo da espiga, no florescimento feminino (R<sub>1</sub>), aparecimento dos estilos-estigma nas espigas;

<sup>3</sup>Gott et al. (2014): milho-grão maduro - limbo da folha oposta e abaixo da espiga, no florescimento feminino (R<sub>1</sub>), aparecimento dos estilos-estigma nas espigas;

<sup>4</sup>Maynard e Hochmuth (2007): milho-doce – folha completa oposta a espiga principal, durante o florescimento masculino (V<sub>T</sub>).

O método CND-*ilr* por descrever as interações de nutrientes ao longo de eixos ortogonais (balanço de nutrientes) como a distância entre nutrientes nos mesmos eixos, pode ser considerado como promissor para diagnóstico do estado nutricional do milho-doce. Segundo Filzmoser e Hron (2011), essa abordagem é imparcial, não tendenciosa (D-1 graus de liberdade), e preserva todas as informações contidas no vetor composicional, graças ao princípio da ortogonalidade.

Esse conceito foi testado com sucesso em estudos de nutrição de algumas culturas de valor econômico (MARCHAND et al., 2013; PARENT et al., 2013b; MODESTO et al., 2014; BAXTER, 2015; ROZANE et al., 2015; NOWAKI et al., 2017).

## 4 CONCLUSÃO

O método CND-*ilr* demonstrou potencial para obtenção de padrões nutricionais.

Para o milho-doce, os parâmetros obtidos do banco de dados quanto a Acurácia, Sensibilidade, Especificidade, Valor Preditivo Negativo e Valor Preditivo Positivo foram 70, 95, 45, 91 e 61%, respectivamente.

As faixas adequadas dos teores foliares pelo método CND-*ilr* para a cultura do milho-doce são, em g kg<sup>-1</sup>: N = 29 - 30; P = 3,1 – 3,3; K = 19 - 20; Ca = 5 – 5,3; Mg = 1,4 – 1,5 e S = 2,0 - 2,1; e em mg kg<sup>-1</sup>: B = 16 – 21; Cu = 11 - 13; Fe = 171 - 211; Mn = 24 - 37 e Zn = 27 - 30.

## 5 REFERÊNCIAS

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

BAXTER, I. Should we treat the ionome as a combination of individual elements, or should we be deriving novel combined traits? **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 8, p. 2127-2131. 2015.

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

CANTARELLA, H.; VAN RAIJ, B. Milho verde e milho-doce. In: RAIJ, B.; van, H.; CANTARELLA, J. A.; QUAGGIO, A. M.C.; FURLANI (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 64-65.

CANTELMO, N. F.; FERREIRA, D. F. Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação Monte Carlo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1630-1636, 2007.

COMAS-CUFÍ, M.; THIÓ-HENESTROSA, S. **CoDaPack 2.0: a stand-alone, multi-platform compositional software**. In: EGOZCUE, J. J.; TOLOSANA-DELGADO, R.; ORTEGO, M. I. (Eds.). **CoDaWork'11: 4th International Workshop on Compositional Data Analysis**. Sant Feliu de Guíxols. 2011.

CRUZ, C. A.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MENESES, N. B.; CUNHA, T. P. L.; NOWAKI, R. H. D.; BARBOSA, J. C. Influence of amount and parceling of nitrogen fertilizer on

productivity and industrial revenue of sweet corn (*Zea mays* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 895-900, 2015.

CUNHA, M. L. P.; AQUINO, L. A.; NOVAIS, R. F.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, P. M.; OLIVEIRA, T. F. Diagnosis of the nutritional status of garlic crops. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1-14, 2016.

DEZORDI, L R; AQUINO, L A; AQUINO, R F B A; CLEMENTE, J M; ASSUNÇÃO, N S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 40, p. 1-16, 2016.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. Groups of parts and their balances in compositional data analysis. **Mathematical Geology**, New York, v. 37, p. 795-828, 2005.

EGOZCUE, J. J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUERAS, G.; BARCELÓ-VIDAL, C. Isometric log-ratio transformations for compositional data analysis. **Mathematical Geology**, v. 35, p. 279-300, 2003.

EMBRAPA – **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. p. 353.

FILZMOSE, P.; HRON, K. Robust statistical analysis. In: PAWLOWSKY-GLAHN, V.; BUCCIANTI, A. (Eds.) **Compositional data analysis: Theory and Applications**. NY: John Wiley and Sons, 2011. p. 57-72.

FILZMOSE, P.; HRON, K. Outlier detection for compositional data using robust methods. **Math. Geoscience**, v. 40, p. 233-248, 2008.

FILZMOSE, P.; HRON, K.; REIMANN, C. Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and Possibilities. **Science of Total Environment**, v. 407, p. 6100–6108. 2009.

GOTT, R. M.; AQUINO, L. A.; CARVALHO, A. M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1110–1115, 2014.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos quantitativos estatísticos**. 1ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008. p. 254.

HADI, A. Identifying multiple outliers in multivariate data. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.54, p. 761-771, 1992.

HADI, A. A modification of a method for the detection of outliers in multivariate samples. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 56, p. 393-396, 1994.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Science**. v. 41, p. 311-329, 1966.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2014. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: Jul. 2016.

KHIARI, L.; PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Critical compositional nutrient indexes for sweet corn at early growth stage. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 809-814, 2001a.

KHIARI, L., PARENT, L. E.; TREMBLAY, N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 802-808, 2001b.

KÖPPEN-GEIGER, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica, MEX, 1948. p. 478.

LAGATU, H.; MAUME, L. Le diagnostic foliaire de l'apomme de terre. **Annales de l'École Nationale Agronomique de Montpellier**, v. 22, 1934. p. 50-158.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**. n. 4. p. 18-36, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARCHAND, S.; PARENT, S-E.; DELAND, J-P.; PARENT, L. E. Nutrient signature of Quebec (Canada) cranberry (*Vaccinium macrocarpon* AIT.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 199-209, 2013.

MATEU-FIGUERAS, G.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; EGOZCUE, J. J. The principle of working on coordinates. In: PAWLOWSKY-GLAHN, V.; BUCCIANTI, A. (Eds.) **Compositional Data Analysis: Theory and Applications**. New York: John Wiley and Sons, 2011. p. 31-42.

MAYNARD, D. N.; HOCHMUTH, G. J. **Knott's handbook for vegetable growers**. Hoboken: John Wiley e Sons. EUA, 2007.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; MELLO, W. J. de; CARMO, C. A. F. S. **Análise química de tecido vegetal. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ed. Brasília: EMBRAPA. 2009. p. 233.

MODESTO, V. C.; PARENT, SE. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Foliar nutrient balance standards for maize (*Zea mays* L.) at high-yield level. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 497-507, 2014.

NELSON, L. A.; ANDERSON, R. L. Partitioning of soil test-crop response probability. **Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results**. Madison: ASA Spec. Publ., 1977. p. 19-38.

NOWAKI, R. H. D.; PARENT, S. É.; CECÍLIO FILHO, A. B.; ROZANE, D. E.; MENESES, N. B.; SILVA, J. A. S.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Phosphorus over-fertilization and nutrient misbalance of irrigated tomato crops in Brazil. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1-11, 2017.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; EGOZCUE, J. J.; ROZANE, D. E.; 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, n. 39, p. 1-10, 2013a.

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

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

PARENT, L. E.; NATALE, W.; ZIADI, N. Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, p. 383-390, 2009.

PARENT, L. E.; PARENT, S.-É.; HÉBERT-GENTILE, V.; NAESS, K.; LAPOINTE, L. Mineral balance plasticity of cloudberry (*Rubus Chamaemorus*) in Quebec-Labrador. **American Journal of Plant Science**, v. 4, n. 7, p. 1508-1520, 2013c.

PARENT, S. E.; PARENT, L. E.; ROZANE, D. E.; NATALE, W. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, n. 449, p. 1-12, 2013b.

PEREIRA FILHO, I. A.; TEIXEIRA, F. F. **O cultivo do milho-doce**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 298.

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 & Fundação IAC, 1997. p. 181.

REDFIELD, A. C. An ecological aspect of the Gulf Stream. **Nature**, v. 138, p. 1013-1030, 1936.

RENÉ, W.; CÔTÉ, B.; CAMIRÉ, C.; BURGESS, M.; FYLES, J. W. Development and application of CVA, DRIS, and CND norms for three hybrids of *Populus maximowiczii* planted in southern Quebec. **Journal of Plant Nutrition**. v. 36, p. 118-142, 2013.

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. **Científica**, v. 44, n. 1, p.102-112, 2016.

ROZANE, D. E.; MATTOS, D.; PARENT, S. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E. Meta-analysis in the selection of groups in varieties of citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, p. 1948-1959, 2015.

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.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; LEITE, F. P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 507-515, 2004.

SOUZA, H. A.; ROZANE, D. E.; AMORIM, D. A.; DIAS, M. J. T.; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Assessment of nutritional status of guava seedlings using preliminary DRIS norms and sufficiency ranges. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, p. 1611-1618, 2015.

STATSOFT. Inc. **STATISTICA** (data analysis software system), version 7. 2004. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: Outubro de 2017.

SUMNER, M. E. Effect of corn leaf sampled on N, P, K, Ca and Mg content and calculated DRIS indices. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 8, n. 3, p. 269-280, 1977.

TOLOSANA-DELGADO, R.; VAN DEN BOOGART, K. G. **Linear models with compositions in R in compositional data analysis: theory and applications**. PAWLOWSKY-GLAHN V.; BUCCIANTI A. (Eds). New York: John Wiley and Sons, 2011. p. 356-371.

VAN DEN BOOGAART, K. G.; TOLOSANA-DELGADO, R.; BREN M. **Compositions: compositional data analysis in R package**. 2013. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=compositions>>. Acesso em: Abr. 2013.

WADT, P. G. S.; LEMOS, C. 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. (Eds.) **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. 1. ed. Jaboticabal: FCAV/CAPEF/FAPESP /FUNDUNESP, 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. (Eds.) **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPEF, 2016. p. 373-392.



WAIREGI, L. W. I.; VAN ASTEN, P. J. A. Norms for multivariate diagnosis of nutrient imbalance in arabica and rosusta coffee in the east african highlands. **Experimental Agriculture**, v. 48, n. 3, p. 448–460, 2012.

YOUSUF, M. N.; AKTER, S.; HAQUE, M. I.; MOHAMMAD, N.; ZAMAN, M. S. Compositional nutrient diagnosis (CND) of onion (*Allium cepa* L.). Bangladesh. **Journal of Agricultural Research**, v. 38, n. 2, p. 271 -287, 2013.