RONEY MENDES GOTT

ÍNDICES DIAGNÓSTICOS FOLIARES PARA A CULTURA DO MILHO NO ALTO PARANAÍBA – MG

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA

MINAS GERAIS - BRASIL

2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca UFV - Campus de Rio Paranaíba

Gott, Roney Mendes, 1984-
G685i Índices diagnósticos foliares para a cultura do milho no Alto Paranaíba - MG / Roney Mendes Gott. – Rio Paranaíba, MG, 2013.
Viii, 72 f. : il ; 29cm

Orientador: Leonardo Ângelo Aquino
Dissertação (mestrado) em Agronomia - Universidade Federal de Viçosa.

1. Zea mays - Análise química foliar.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633

RONEY MENDES GOTT

ÍNDICES DIAGNÓSTICOS FOLIARES PARA A CULTURA DO MILHO NO ALTO PARANAÍBA – MG

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de julho de 2013.

Tricia Costa Lima

André Mundstock Xavier de Carvalho
(Coorientador)

Leonardo Angelo de Aquino
(Orientador)

Aos meus pais, Roney de Nazareth Gott e Eunice Aparecida Mendes, fundadores dos meus princípios.

dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me amparar e conduzir pela caminhada da vida.

À Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

À Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Leonardo Angelo Aquino, pela exemplar orientação, amizade, confiança e apoio durante a realização do curso e desta pesquisa.

Ao professor André Mundstock Xavier de Carvalho, pela co-orientação, sugestões e suporte científico na realização deste trabalho.

Aos membros do Grupo de estudos: Soluções Inteligentes em Nutrição de Plantas - Gsinp (Bruna, Daniel, Guilherme, Herika, João Neto, Luciel, Marcelo, Mario, Naiara, Natália, Priscila e Rosiane) pelo auxílio direto nas coletas dos dados nas propriedades rurais e análises laboratoriais, em especial ao Luiz, Pedro e Felipe presentes desde os primórdios da pesquisa.

Aos grandes amigos de república, Cícero, Diego e Diogo pelo auxílio nas coletas de dados e momentos de descontração.

Aos motoristas do *Campus* Rio Paranaíba, pela colaboração.

Ao Alcides Chagas e Bruno Henrique Rocha, pela ajuda nas amostragens de produtividade no 1º e 2º ano de coleta.

Aos grupos agrícolas e agricultores do Alto Paranaíba, que consentiram a coleta dos dados em suas áreas comerciais.

Aos técnicos responsáveis das propriedades, que responderam os 140 questionários aplicados.

A equipe do Laboratório FERTILAB, pela parceria em realizar parte das análises

Aos pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, Dr. Álvaro Vilela de Resende e Dr. Miguel Marques Gontijo, pela orientação e incentivo em ingressar no Mestrado.

Aos meus amigos agrônomos, Clério Hickmann, Daiana Pereira, Mariana Abreu, Raquel Oliveira e Wagner Tavares pela amizade.

Meus Sinceros Agradecimentos!

SUMÁRIO

RESUMO v

ABSTRACT vii

1. INTRODUÇÃO GERAL 1

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 7

CAPÍTULO I - NÍVEL CRÍTICO, FAIXA DE SUFICIÊNCIA E ÍNDICES BALANCEADOS DE KENWORTHY PARA INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE FOLIAR DO MILHO 10

RESUMO 10

1. INTRODUÇÃO 11

2. MATERIAL E MÉTODOS 13

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 18

4. CONCLUSÕES 31

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 32

CAPÍTULO II - ÍNDICES DIAGNÓSTICOS FOLIARES PARA O MILHO PELOS MÉTODOS DRIS, COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E CHANCE MATEMÁTICA 35

RESUMO 35

1. INTRODUÇÃO 36

2. MATERIAL E MÉTODOS 37

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 45

4. CONCLUSÕES 67

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 68

6. CONCLUSÕES GERAIS 72

RESUMO

GOTT, Roney, Mendes. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Índices diagnósticos foliares para a cultura do milho no Alto Paranaíba – MG**. Orientador: Leonardo Angelo de Aquino. Coorientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho e João Carlos Cardoso Galvão.

Um total de 23,6% de grãos de milho (*Zea mays* L., Poaceae) de Minas Gerais é produzido na região do Alto Paranaíba. Essa região utiliza técnicas de cultivo que propiciam elevadas produtividades dessa cultura. No entanto, altas doses de fertilizantes, muitas vezes desnecessárias, são aplicadas, desequilibrando a nutrição. Métodos de diagnose do estado nutricional dessas plantas, incluindo a análise química foliar, são importantes na região. Essa análise detecta o nutriente em excesso ou deficiente na planta. Objetivou-se com este estudo estabelecer normas de diagnose foliar usando os métodos: Nível Crítico (NC), Faixa de Suficiência (FS), Índices Balanceados de Kenworthy (IBK), Chance Matemática (ChM), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Composição Nutricional (CND) para a cultura do milho na região do Alto Paranaíba – MG; determinar o (s) melhor (es) método (s) para diagnóstico e estabelecer a ordem de limitação nutricional dos nutrientes. Lavouras comerciais de milho, com predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo, foram avaliadas nas safras 2011/2012 e 2012/2013. Folhas de milho foram amostradas para compor o banco de dados e gerar os índices diagnósticos. A produtividade de 64 talhões na safra 2011/2012 e de 66 talhões na 2012/2013, com área entre cinco e 60 hectares por talhão, foi avaliada. Esses talhões foram cultivados com tratos culturais recomendados para a cultura. O teor obtido para o NC foi estimado de modelos matemáticos para 90% da produtividade máxima. A FS e o IBK foram determinados de acordo com a subpopulação de alta produtividade (>11.795 kg ha^{-1}). A FS correspondeu à média da subpopulação de alta produtividade mais o desvio padrão da mesma e o IBK, à média, desvio-padrão e o coeficiente de variação da subpopulação de alta produtividade. Após distribuição da produtividade em classes de frequência, a chance matemática relativa (ChMR) foi calculada. A faixa ótima obtida pelo método ChM foi composta pelos intervalos de teores de nutrientes que abrangeram as duas classes de maior ChMR. As

normas para o DRIS foram determinadas pela média, desvio padrão, coeficiente de variação e razão da variância entre os teores de nutrientes nas folhas na subpopulação de alta produtividade. A média e o desvio padrão médio das variáveis multinutrientes na subpopulação de alta produtividade foram calculados para o método CND. Parâmetros da estatística descritiva foram utilizados para agrupar os valores em classes, determinar a população de referência e estabelecer os índices. Um total de 49,1% dos talhões amostrados tiveram produtividade acima de 11 t ha^{-1}. A subpopulação de alta produtividade (referência) estabelecida foi composta por 25,8% do total dos talhões amostrados. Os métodos de diagnose NC, FS e IBK indicaram que os teores ótimos dos nutrientes estão muito próximos das médias dos teores na população de referência e as faixas ótimas aproximam os valores entre os métodos FS e IBK. As faixas normais do ChM discordam das faixas DRIS e CND propostas. De forma a validar a importância da regionalização das normas, a amplitude das faixas ótimas obtidas para os métodos FS, IBK, ChM, DRIS e CND, mostraram-se menores que as encontradas na literatura consultada. Os métodos mostraram que ferro e zinco são os elementos mais limitados nos talhões por deficiência nutricional. Por outro lado, a limitação por excesso foi mais freqüente para o magnésio. Os resultados não apresentaram limitação nutricional de nutrientes em ordem semelhante à de faixas oficiais vigentes. Normas regionais são confiáveis para diagnosticar limitações nutricionais em milho no Alto Paranaíba.

Palavras-chave: *Zea mays*, análise química foliar, monitoramento nutricional

ABSTRACT

GOTT, Roney, M. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa (Federal University of Viçosa City, Minas Gerais State, Brazil), July, 2013. **Foliar diagnostic indexes for corn crop in the region at the beginning of Paranaíba River – Minas Gerais State (MG), Brazil**. Adviser: Leonardo Angelo Aquino. Co-advisers: André Mundstock Xavier de Carvalho

A total of 23.6% of maize seeds (*Zea mays* L., Poaceae) from Minas Gerais State is produced in the Alto Parnaíba region. This region uses cultivation techniques that provide high yields of this crop. However, high doses of fertilizers, oftentimes unnecessary, are applied, unbalancing the nutrition. Methods of diagnosis of nutritional status of these plants, including foliar analysis, are important in the region. This analysis detects the nutrient in excess or deficient inside the plant.This study aimed to establish foliar analysis standards by the methods: "Critical Level (CL), Sufficiency Range (SR), Kenworthy balanced indexes (IBK), Mathematical Chance (ChM), Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS), and Compositional Nutrient Diagnosis (CND) for the corn crop in the region at the beginning of Paranaíba Rio - MG, in order to determine the best method for diagnosis and establish the order of nutrients nutritional limitation. Commercial corn farms, with predominance of Red-Yellow Latosol, were evaluated in the agricultural crops of 2011/2012 and 2012/2013. Maize leaves were sampled to form the database and generate the diagnostic indexes. The productivity of 64 plots in the crop of 2011/2012 and of 66 plots in the crop of 2012/2013, with area between five and 60 hectares per plot, was evaluated. These plots were cultivated with practices recommended for the crop. The content obtained for the NC was estimated from mathematical models for 90% of the maximum productivity. The FS and the IBK were determined according to the subpopulation of high yield (> 11,795 kg ha^{-1}). The FS was the mean of the subpopulation of high productivity plus the standard deviation of the same and the IBK, to the mean, standard deviation and coefficient of variation from the subpopulation of high productivity. After distribution of the productivity into classes of frequency, the relative mathematical chance (ChMR) was calculated. The optimal range obtained by the method ChM was composed by the intervals of nutrient content that covering the two largest classes of ChMR. The standards for the DRIS were determined by the mean, standard deviation,

coefficient of variation and reason of variance between the amounts of nutrients into the leaves in the subpopulation of high productivity. The mean and the average standard deviation of the multinutrient variables in the subpopulation of high productivity were calculated for the method CND. Parameters from the descriptive statistics were used to group the values into classes, determine the reference population and establish the indexes. A total of 49.1% of the sampled plots had produtivity above 11 t ha^{-1}. The subpopulation of high productivity (reference) established was composed by 25.8% of total of the plots sampled. The methods of diagnosis NC, FS and IBK indicated that the optimum levels of nutrients are very close to the averages of the levels in the reference population and the optimum ranges approximate the values between the methods FS and IBK. The normal ranges of ChM disagree of ranges DRIS and CND proposals. In order to validate the importance of regionalization of standards, the amplitude of optimum ranges obtained for the FS, IBK, ChM, DRIS and CND methods, were smaller than those found in the literature. The methods showed that iron and zinc are the most limited elements in the plots by nutritional deficiency. Moreover, the limitation by excess was more frequent for the magnesium. The results showed no nutrient limitation of nutrients in similar order to tracks current official. Regional standards are reliable for diagnosing nutrient limitation in corn in the Alto Paranaíba.

Keywords: *Zea mays*, chemical foliar analysis, nutritional monitoring

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do milho contribui mundialmente de maneira crescente na base alimentar humana, animal e na produção de biocombustíveis em escala global. No Brasil, no ano agrícola de 2010/2011, os cultivos na safra e safrinha foram responsáveis por uma produção de 57,38 milhões de toneladas de milho em 13,80 milhões de hectares, com rendimento médio de 4.158 kg ha^{-1} de grãos. No ano agrícola 2011/2012, houve incremento na produção de 27% e na área de cultivo de 10%, com rendimento médio de 4.808 kg ha^{-1} de grãos em relação a safra anterior (CONAB, 2013).

A região do Alto Paranaíba, destaca-se pela agricultura intensiva, altamente mecanizada e conhecida por recordes em produtividades. A região é responsável pela produção de 50% da cenoura do País (Vieira, 2003), 84% de cebola, 73% do alho, 21% do milho, 22% da soja e 14,2% do feijão produzido no Estado de Minas Gerais (IBGE, 2010). O Alto Paranaíba também se beneficia por estar em uma posição estratégica em relação aos principais mercados consumidores brasileiros. Por estes fatores favoráveis, atualmente, a região pode ser considerada um dos mais dinâmicos pólos agrícolas do Estado.

É importante salientar, que essa região é a maior produtora de grãos de milho de Minas Gerais. Essa posição no ranking de produção deve estar ligada ao uso de genótipos responsivos, manejo adequado, solos com boas propriedades físicas e fertilidade corrigida, efeito residual de nutrientes de culturas antecessoras e condições climáticas favoráveis.

No entanto, essa realidade, tem seguido o paradigma ainda vigente de trabalhar com altas doses de fertilizantes para buscar se aproximar do potencial produtivo da cultura do milho. Equivocadamente, as recomendações de fertilizantes seguem doses fixas por várias safras agrícolas, sem levar em conta o residual de fertilizações anteriores ou o potencial produtivo do híbrido cultivado. Isso pode gerar aumento no custo de produção, risco de contaminação ambiental, aumento no uso das reservas naturais de nutrientes e desequilíbrio nutricional.

As recomendações de fertilizações em doses fixas muitas vezes são motivadas pela desatualização dos manuais de recomendação. São observadas em áreas comerciais produtividades que ultrapassam as faixas de rendimento

propostas nos manuais de recomendações de fertilizantes (Alves et al., 1999). Além disso, na região do Alto Paranaíba há relatos de que a cultura do milho esteja atingindo valores de produtividades de 12.000 a 15.000 kg ha^{-1} de grãos. Dessa forma, diante desse novo cenário, a melhor interpretação das análises de solo visando a recomendação de adubação necessita de dados atualizados e regionalizados de pesquisa que as embasem. Neste contexto, torna-se necessário o uso de ferramentas que possam trabalhar em conjunto com a análise de solos para tornar a recomendação mais próxima da demanda nutricional para a produtividade almejada.

O monitoramento nutricional é componente essencial para a construção e manutenção de sistemas de produção eficientes (Silva et al., 2009). Um dos métodos que incrementam a eficácia do diagnóstico nutricional é a análise química foliar. A análise química foliar detecta e o método diagnóstico informa, de maneira precisa, o nutriente em excesso ou deficiente na planta. O estado nutricional das folhas geralmente representa melhor as variações no suprimento do nutriente, via solo ou fertilizante, que o estado nutricional do solo (Malavolta et al., 1997; Nachtigall & Dechen, 2007). Neste contexto, o tecido vegetal (folhas) é amplamente utilizado para informar o estado nutricional da planta por fornecer medições diretas das quantidades de nutrientes absorvidos pela cultura (Magallanes-Quintanar et al., 2006; Crestes & Echer, 2010).

Malavolta et al. (1997) mostraram que, para a cultura do milho, a primeira folha abaixo e oposta a espiga no período da emissão dos estigmas (cabelo), caracteriza com boa confiabilidade, o status nutricional da cultura. A precisa interpretação dos resultados de análises foliares também proporciona informações que aumentam a eficiência do uso de insumos, evita o desperdício, melhora o equilíbrio nutricional das plantas e, consequentemente, proporciona aumento da produtividade (Cantarutti et al., 2007; Serra et al., 2010).

A grande aceitabilidade do método de diagnose foliar na comunidade científica é evidenciada pela diversidade de culturas em que tem sido empregado, como algodão (Serra et al., 2010), mangueira (Hundal et al., 2005), milho (Parent et al., 2009), soja (Urano et al., 2007), entre outras.

Para detectar a situação nutricional, equilibrada ou desequilibrada, a análise do tecido vegetal é confrontada com valores de referência (normas). Estes são definidos como valores de concentrações nutricionais obtidos a partir de áreas

de alto rendimento produtivo, representativas em função das condições de manejo e edafoclimáticas regionais (Beaufils, 1973). Em lavouras de alta produtividade, os teores dos nutrientes encontram-se mais próximos dos ótimos fisiológicos, justificando a escolha destas para compor a população de referência, geradora das normas ou índices diagnósticos foliares.

Em princípio, os valores de referência deveriam ter aplicação geral (Beaufils, 1973). Entretanto, na realidade há uma forte relação com particularidades regionais ou até mesmo locais (Farnezi et al., 2009; Serra et al., 2010). A variabilidade dos teores foliares de nutrientes, juntamente com a produtividade, está em função de 52 fatores que afetam o desenvolvimento fisiológico e o produto econômico das culturas, dos quais aproximadamente 86% são controláveis pelo homem (Tisdale et al., 1993). As normas confiáveis necessitam ser obtidas nas condições limitadas às características conhecidas. É de fundamental importância a obtenção de normas para regiões de elevada significância na produção e com condições edafoclimáticas semelhantes, como é o caso da região do Alto Paranaíba.

A regionalização dos padrões de referência para interpretação da análise foliar possibilita diagnósticos precisos e eficazes sobre as condições nutricionais dos talhões (Guindani et al., 2009; Creste & Echer, 2010). Vários trabalhos têm indicado uma alta correlação entre produtividade e o teor foliar, acompanhados de redução na amplitude das classes nutricionais, em relação às faixas de referência obtidas na literatura, quando se trabalha com normas regionais (Urano et al., 2007; Serra et al., 2010).

Cornforth & Steele (1981), em estudos na Nova Zelândia, determinaram padrões nutricionais para a cultura do milho com a finalidade de comparar com as normas dos Estados Unidos da América. Observaram que os padrões nutricionais desenvolvidos são diferentes dos padrões norte americanos. Concluíram que, para talhões de milho de altos rendimentos, as variações climáticas determinam diferenças nas faixas adequadas de nutrientes, sendo necessário padrões de faixas nutricionais específicos por região. Em nível nacional, Rocha et al. (2007), na região de Hidrolândia (GO), estudaram a obtenção de normas regionais para os nutrientes essenciais em lavouras cultivadas com milho de alta produtividade e, compararam às normas obtidas com regiões de outros países em diferentes anos. Estes autores constataram que o uso de normas de outras regiões gerou

diagnósticos de deficiência ou excesso, diferentes daqueles encontrados regionalmente.

Neste contexto, torna-se necessário o desenvolvimento de normas regionais com o auxílio dos métodos disponíveis. Estes podem ser classificados didaticamente em univariados, bivariados e multivariados. O primeiro baseia-se na análise independente de apenas um nutriente em cada índice. Foram os primeiros métodos desenvolvidos. Possui a praticidade como vantagem em relação ao seu uso. Dentre os univariados destacam-se o Nível Crítico (NC), a Faixa de Suficiência (FS) e o Índices Balanceados de Kenworthy (IBK). O segundo fundamenta-se na dependência dos nutrientes para cada índice, inclui uma relação entre dois nutrientes. O uso da relação dual proporciona maior segurança em relação às interpretações individuais dos nutrientes. Atualmente, este método, com suas relações bivariadas, têm sido indicado como um método promissor para avaliar o estado nutricional das plantas (Wadt et al., 2012). Dentre os bivariados cita-se o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS). Assim que uma população de referência é definida, são obtidas as normas que são constituídas das relações entre todos os pares de nutrientes e suas respectivas médias e desvios padrão (Guindani et al., 2009).

Por fim, os resultados podem também ser interpretados pelos métodos multivariados. Nestes, são estudadas as relações de um nutriente com a média geométrica dos teores dos outros nutrientes. A composição nutricional (CND) é um exemplo. Esse método foi desenvolvido com objetivo de aplicar ao método DRIS estatística multivariada e simplificar o método DRIS. O método CND demanda 3% das operações matemáticas realizadas no método DRIS, para o mesmo número de nutrientes. Portanto, a utilização do método CND possui maior eficiência operacional para interpretação nutricional das plantas (Wadt et al., 2012). É o método mais consistente para interpretação, pela sua grande abrangência na interpretação (Camacho et al., 2012).

Coelho et al. (2013), para facilitar a interpretação e a decisão do uso de doses de fertilizantes nitrogenados em lavouras comerciais na cultura da batata, estabeleceram níveis críticos (NC) através de diferentes métodos e concluíram que mesmo sendo verificado discrepância nos valores de NC entre os métodos, os valores obtidos pelos métodos podem ser usados como referência para diagnose de lavouras comerciais. Martinez et al. (2003), atualizaram as faixas críticas de

concentração de nutrientes para lavouras comerciais de *Coffea arabica* de alta, média e baixa produtividade em quatro regiões do estado de Minas Gerais e constataram que as faixas críticas de concentrações se assemelham para as quatro regiões e que os maiores desequilíbrios foram verificados com micronutrientes em anos de altas produtividades.

Em trabalho com métodos bivariados, Nziguheba et al. (2009), demonstraram o potencial do DRIS como uma ferramenta para identificar as deficiências de nutrientes em milho na região oeste das savanas da África. Os autores concluíram que o método provou ser capaz de identificar nutrientes limitantes na produção de milho na região. Em estudo utilizando o mesmo método, para determinar padrões para a cultura do feijão irrigado, constatou-se que o método foi eficiente em avaliar o estado nutricional nas áreas estudadas (Crestes & Echer, 2010).

Para aferir as normas dos métodos bivariado e multivariado, Serra et al. (2010) desenvolveram normas utilizando os métodos DRIS e CND em talhões comerciais de algodão no oeste da Bahia. Concluíram que os métodos avaliados mostraram-se igualmente satisfatórios para avaliar o estado nutricional do algodoeiro. Urano et al. (2007), no estado do Mato Grosso do Sul, comparou os teores ótimos de nutrientes para soja, estimados por meio dos métodos Chance Matemática (ChM), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND) em lavouras comerciais. Concluíram que os teores ótimos de nutrientes da população de referência estimados pelos métodos avaliados não obtiveram resultados idênticos. Ou seja, é necessário que se compare, avalie e identifique os métodos que serão fundadores dos valores de referência.

Existem métodos disponíveis de diagnóstico foliar para a cultura do milho sob alta produtividade (Urricariet et al., 2004; Magallanes-Quintanar et al., 2006; Rocha et al., 2007). Todavia, os trabalhos foram desenvolvidos em regiões com condições edafoclimáticas diferentes das encontradas na região do Alto Paranaíba. Dessa forma, existe uma demanda expressa por trabalhos sobre a diagnose foliar como ferramenta de auxílio às recomendações de fertilizantes para a cultura do milho, sob as condições edafoclimáticas com alto potencial produtivo da região supracitada.

O desenvolvimento e uso das normas obtidas por diferentes métodos de interpretação de resultados de análise foliar poderão contribuir para o estabelecimento de programas de adubação com maior eficiência agronômica, representada por sistemas de produção racionais, eficientes e lucrativos na região do Alto Paranaíba. A integração da diagnose proporcionará conhecer a ordem de limitação dos nutrientes à produtividade.

Objetivou-se com esta pesquisa:

a. Estabelecer valores de referência (normas ou índices diagnósticos) através de métodos univariados, bivariados e multivariados da diagnose foliar para a cultura do milho na região do Alto Paranaíba – MG;
b. Definir o (s) melhor (es) método (s) para diagnóstico do estado nutricional do milho e comparar com os valores disponíveis na literatura;
c. Determinar a ordem de limitação nutricional para cada método de interpretação dos talhões a partir dos resultados de análise foliar.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA JR LOUREIRO, J.E. Milho. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (Eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.314-316.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Pietermaritzburg, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science. Bulletin, 1).

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 laranjeira-pera. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.46, p.193-200, 2012.

CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendações de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L (Eds.). **Fertilidade do Solo**, Viçosa, MG, SBCS, 2007. p.769-850.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BRAUN, H.; SILVA, I.R. Value and prediction of critical content-level to assess the nitrogen status of the potato. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.155-122, 2013.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: quarto levantamento, Janeiro 2013. Brasília, 2013. 28 p.

CORNFORTH, I.S.; STEELE, K.W. Interpretation of maize leaf analyses in New Zealand. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, v.9, p.91-96, 1981.

CRESTES, J.E.; ECHER, F.R.; Establishing standards for the integrated recommendation and diagnosis system (DRIS) for Irrigated Bean Crops. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** v.41, p.1921-1933, 2010.

FARNEZI, M.M.M.; SILVA, E.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): Normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.969-978, 2009.

GUINDANI, R.H.; ANGUINONI, 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.

HUNDAL, H.S.; SINGH, D.; BRAR, J.S. Diagnosis and recommendation integrated system for monitoring nutrient status of mango trees in submountainous

area of punjab, India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, p. 2085-2099, 2005.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal [anual]**. 2010. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>. Acesso em: 09 jan. 2012.

MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R.D.; OLIVARES-SÁENZ E.; PÉREZ-VEYNA, O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.D. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in a calcareous soil. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.2019-2033, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., Piracicaba, Potafos, 1997. p.115-230.

MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ, V.H.V.; GUIMARÃES, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.703-713, 2003.

NACHTIGALL, G.R.; DECHEN, A.R. DRIS use on apple orchard nutritional evaluation in response to potassium fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.38, p.2557-2566, 2007.

NZIGUHEBA, G.B.; TOSSAH, B.K.; DIELS, J.; FRANKE, A.C.; AIHOU, K.; IWUAFOR, E.N.O.; NWOKE, C.; MERCKX, R. Assessment of nutrient deficiencies in maize in nutrient omission trials and long-term field experiments in the West African Savanna. **Plant and Soil**, v.314, p.143-157, 2009.

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.

ROCHA, A.C.; LEANDRO, W.M.; ROCHA, A.O.; SANTANA, J.G.; ANDRADE, J.W.S. Normas DRIS para cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO. **Bioscience Journal**, v.23, p.50-60, 2007.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.105-113, 2010.

SILVA, A.P.; ALVAREZ, V.H.; SOUZA, A.P.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; DANTAS, J.P. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi - fertcalc-abacaxi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1269-1280, 2009.

TISDALE, S.L; NELSON, W.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil Fertility and fertilizer**. New York: MacMillan, 1993. 1634p.

URANO, E.O.M.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.63-72, 2007.

URRICARIET, S.; LAVADO, R.S.; MARTÍN, L. Corn response to fertilization and SR, DRIS and PASS interpretation of leaf and grain analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.413-425, 2004.

VIEIRA, J.V. **Desenvolvimento de cultivares e populações de cenoura com resistência às principais doenças da cultura e melhor qualidade da raiz**. Brasília: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 2003. 63p.

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.

CAPÍTULO I - NÍVEL CRÍTICO, FAIXA DE SUFICIÊNCIA E ÍNDICES BALANCEADOS DE KENWORTHY PARA INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE FOLIAR DO MILHO

Resumo

Dentre as diversas formas de maximizar a eficiência de recomendação de fertilizantes em áreas de cultivo de alta produtividade, a análise foliar é uma ferramenta de diagnóstico nutricional precisa. Gerou-se um banco de dados dos teores foliares de macro e micronutrientes nas safras agrícolas 2010/2011 e 2011/2012**,** na região do Alto Paranaíba (MG), em talhões comerciais de milho, com o objetivo de determinar os índices diagnósticos foliares (normas), para interpretação de resultados de análise foliar mediante os métodos: Nível Crítico (NC), Faixa de Suficiência (FS) e Índices Balanceados de Kenworthy (IBK). Para a composição do banco de dados foram amostrados folhas e produtividade de 64 talhões (2011/2012) e de 66 talhões (2012/2013). As normas foram obtidas para o NC, através da divisão de classes de produtividade com os respectivos teores nutricionais médios. A FS e o IBK foram determinados de acordo com a população de alta produtividade (>11.795 kg ha^{-1}). A faixa de teores adequados pela FS correspondeu a média da população de alta produtividade mais ou menos o desvio padrão da mesma e a do IBK, a média, desvio padrão e o coeficiente de variação da população de referência. Os métodos de diagnose avaliados (NC, FS e IBK) concordaram na indicação de que o teor ótimo está muito próximo da média da população de referência e as faixas ótimas assemelham-se entre os métodos. Fe, Mn e Zn foram os elementos que se apresentaram, com maior freqüência, como limitantes por deficiência nutricional. Os valores de referência estabelecidos por este trabalho foram eficientes no diagnóstico nutricional para a região citada e distinta dos citados na literatura.

Palavras-chave: *Zea mays*, diagnose foliar, monitoramento nutricional.

1. Introdução

Uma das formas de maximizar a eficiência de recomendação de fertilizantes em áreas de cultivo de alta produtividade é a inclusão do uso de ferramentas que quantifiquem a disponibilidade de nutrientes durante o ciclo da cultura. Para cada tonelada de grão produzido, a cultura do milho, extrai do solo, em média, 16,4 kg de N; 2,3 kg de P; 15,9 kg de K até o máximo produtivo de 8,0 toneladas de grãos e 17,8 kg de N; 2,5 kg de P e 17,3 kg de K para produtividades superiores a citada (Setiyono et al., 2010). Portanto, o incremento do rendimento de grãos e a absorção total de nutrientes não apresentam um efeito de proporcionalidade pontual em altos tetos produtivos, carecendo cuidados com o balanço nutricional do cereal.

O manejo nutricional da cultura pode ser melhorado pelo uso de análise foliar como ferramenta operacional (Brockley, 2001). Quando usada corretamente, a análise foliar pode ser eficaz para o planejamento e monitoramento operacional para projetos de fertilização tanto para culturas perenes como para as de ciclo anual (Parent, 2011; Dias et al., 2013). A análise foliar se justifica por ser de baixo custo e eficiente em fornecer o estado nutricional da planta.

A interpretação dos resultados da análise foliar é frequentemente mais utilizado para diagnosticar o estado nutricional das culturas (Camacho et al., 2012; Coelho et al., 2013). Estes, pela praticidade na interpretação e por fornecerem informações claras em relação à tomada de decisão da recomendação nutricional são mais difundidos como métodos de interpretação. Estes métodos, no entanto, consideram cada elemento contido na amostra de forma univariadas sem levar em consideração as relações e as interações entre eles (Serra et al., 2010).

Os métodos univariados possibilitam relacionar doses da adubação com a concentração do nutriente no tecido e esta com a produtividade, gerando uma curva de calibração. O NC, embora de simples interpretação, não considera a relação entre os nutrientes e no caso de carências múltiplas, não identifica o mais limitante dos nutrientes (Coelho et al., 2013). O método da faixa de suficiência apresenta como vantagem adicional ao nível crítico, obtenção de uma faixa de

valores adequados e não apenas um valor pontual. O método dos Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) permite simplificar a interpretação. Esse método de diagnose aborda o aspecto de balanço nutricional ao analisar cada nutriente de maneira isolada dos demais, dando uma idéia de saldo existente entre o que foi efetivamente absorvido e a demanda nutricional da planta (Kenworthy, 1961).

Com o avanço da agricultura, as normas referenciais destes métodos estão sendo atualizadas em nível mais regionalizado, de forma a permitir um avanço no aprimoramento do acompanhamento nutricional das lavouras e das recomendações de fertilizantes (Rocha et al., 2007).

Atualmente, as tabelas de referência para métodos univariados, em se tratando da cultura do milho, compreendem faixas nutricionais para produtividades de milho de até 8 t ha^{-1}. Entretanto, no Alto Paranaíba, grande parte dos talhões comerciais expressa produtividades superiores a 12 t ha^{-1}. Logo, os níveis críticos das tabelas de interpretação divulgadas na literatura encontram-se desatualizados perante as atuais produtividades. Nesse contexto, à medida que a agricultura se intensifica, verifica-se a importância de novos critérios para adubação, sendo necessário definir padrões seguros para ajustar as necessidades da cultura (Von Pinho et al., 2009).

Alguns autores têm afirmado que os padrões de referência pelos métodos univariados só podem ser definidos sob condução em ambiente controlado ou em populações altamente produtivas (Cantarutti et al., 2007). Em condições de campo no Alto Paranaíba pode ser possível obter a correlação entre o teor de nutrientes e a produtividade, uma vez que as condições de cultivos dos talhões são semelhantes. Ademais, os resultados poderão demonstrar teores ótimos e faixas críticas que são o reflexo das condições regionais supracitadas.

Objetiva-se, com esta pesquisa, determinar os índices diagnósticos foliares (normas) para interpretação de resultados de análise foliar de milho no Alto Paranaíba – MG pelos métodos NC, FS e IBK.

2. Material e métodos

Localização e caracterização da região de estudo

Para a composição do banco de dados para geração dos índices diagnósticos foliares procedeu-se a coleta de folhas e da produtividade em 130 talhões comerciais na região do Alto Paranaíba – MG. Foram coletados os dados de 64 talhões na safra agrícola 2011/2012 e de 66 talhões na 2012/2013. A localização e os dados climáticos dos municípios onde foram amostrados os talhões são mostrados (Tabela 1).

Nos talhões amostrados, de modo geral, o solo apresenta textura argilosa e são classificados como Latossolos Vermelho-Amarelos. O clima da região é tropical (classificado como Aw segundo Köppen-Geiger) com estação seca e período chuvoso bem definido, que ocorre entre os meses de outubro e março.

Tabela 1. Localidades, localização geográfica[1], e dados climáticos da origem das amostras

Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Precip[2]	$T_{máx.}$ (ºC)[3]	$T_{min.}$ (ºC)[4]
Carmo do Paranaíba	18º98'S	46º35'W	1.000	1474	27,5	16,3
Ibiá	19º48'S	46º54'W	1.030	1574	26,5	15,7
Patos de Minas	18°34′S	46°31'W	842	1474	27,8	16,3
Patrocínio	18°56'S	46°59'W	973	1569	27,9	14,8
Rio Paranaíba	19º19'S	46º24'W	1.100	1574	26,5	15,7
São Gotardo	19º31'S	46º05'W	1.143	1426	28,5	14,5
Serra do Salitre	18º50'S	46º32'W	1.200	1569	27,9	14,8
Tiros	19º02'S	45º56'W	1.021	1442	28,8	16,5

[1]Coordenadas da sede do município; [2]Precipitação (mm ano^{-1}); [3]Temperatura máxima média anual; [4]Temperatura mínima média anual).

Seleção das propriedades amostradas

Os talhões amostrados apresentaram área cultivada entre 5 e 60 ha, sem uso de irrigação e com boas técnicas de cultivo do milho na região do Alto Paranaíba. Selecionaram-se 120 talhões dos 130 amostrados. Esse número foi considerado adequado para o desenvolvimento da pesquisa de acordo com trabalhos de Urano et al. (2006) e Rocha et al. (2007). Foram excluídos talhões em que ocorreram eventos climáticos extremos como veranicos ou granizo ou ainda afetados por condições como severa ocorrência de pragas ou doenças.

Coleta de solos, folhas, análise de nutrientes e produtividade

Para obter os teores no diagnóstico nutricional da lavoura, utilizou-se receptor de GPS (Global Positioning System) de navegação, com a finalidade de georreferenciar a amostragem de solos, folhas e produtividade do milho no mesmo ponto amostral. Foram georeferenciados dois pontos amostrais por talhão, respeitando-se pelo menos 20 metros de bordadura a partir da extremidade da lavoura. Em cada ponto amostral, amostraram-se solos, folhas e a produtividade ao final do ciclo em um raio de 10 metros.

Para caracterização química de solos, antes da semeadura do milho foram retiradas amostras de solo em cada ponto amostral. Foi utilizada metodologia específica para amostragem no Sistema Plantio Direto quando for o caso (Alvarez et al., 1999). As amostras foram secas à sombra e posteriormente acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados para as análises químicas.

Os procedimentos laboratoriais, seguiram a metodologia descrita por (Silva, 1999), para matéria orgânica, pH, P, K^{+}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, B, Al^{+3} e H+Al. Para extração do P, K^{+}, Cu^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2} e Zn^{+2} no solo foi empregado o extrator Mehlich 1. Para extração do B foi empregada água quente. Ca^{+2}, Mg^{+2} e Al^{+3} foram extraídos com KCl 1mol L^{-1}.

Foram amostradas 30 folhas por ponto georeferenciado no estádio R1 (emissão do estilo na espiga). Este é o estádio recomendado para a coleta de folha na cultura do milho (Malavolta et al., 1997; Rocha et al., 2007). As folhas de cada ponto georreferenciado foram reunidas para compor uma amostra composta. Para cada amostra individual, foi coletado apenas a folha índice, que consistiu na 1ª folha fisiologicamente madura, oposta e abaixo à espiga. A amostra simples da folha, restringiu-se apenas da porção central do limbo foliar, sendo descartada a nervura principal e as extremidades, conforme Malavolta et al. (1997). No final da amostragem as 60 folhas de cada talhão foram acondicionadas em sacos de papel.

No processamento laboratorial, o material vegetal (lâminas de folha) foi lavado em solução 0,1% de detergente e enxaguado com água destilada. A amostra foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até atingir massa constante e foi triturada em moinho de lâminas tipo Willey equipado com peneira de malha 1,27 mm.

Foram determinados os teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1997). Os teores de macronutrientes foram expressos em g kg^{-1} e, os de micronutrientes, em mg kg^{-1}.

No estádio R6, a produtividade de grãos foi determinada a partir da amostragem de quatro linhas de cultivo, com cinco metros cada, em cada ponto amostral, respectivamente. A umidade dos grãos foi, em seguida, determinada para que a produtividade fosse corrigida para 13% de umidade em base úmida (b.u.).

Composição e processamento do banco de dados

As variáveis utilizadas para a formação do banco de dados foram: resultados das análises químicas do tecido vegetal para N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B, juntamente com o valor de produtividade. O banco de dados organizado em planilhas eletrônicas foi abrangente devido às diferentes condições de sistemas de manejo dos solos, genótipo e edafoclimáticas.

Seleção e obtenção dos valores de referência

Foi estabelecido um padrão de referencia de teores foliares (normas) conforme utilizado por Serra et al. (2010). Para separar estes dois grupos foi determinada a produtividade média + 2/3 desvio padrão dos talhões comerciais da região do Alto Paranaíba e este valor aplicado ao método da FS e IBK, conforme critério utilizado por Wadt et al. (2012) e Camacho et al. (2012). Os talhões com produtividade acima da produtividade referência enquadraram-se no grupo de alta produtividade. Aqueles com produtividade abaixo da produtividade de referência foram considerados de baixa produtividade.

Interpretação dos resultados da análise foliar

Para interpretação dos resultados da análise foliar utilizaram-se os métodos Nível Crítico (NC), Faixa de Suficiência (FS) e Índices Balanceados de Kenworthy (IBK).

Nível Crítico (NC): O nível crítico é definido por Malavolta et al. (1997), como o teor do nutriente na folha abaixo do qual, a produtividade é reduzida e, acima da qual, a adubação não é mais eficiente. Com o banco de dados determinado, este

método propõe os valores de referência (NC) como o correspondente ao teor mínimo de nutriente na folha equivalente a 90% da produtividade máxima (Reuter & Robinson, 1997).

O nível crítico (NC) foi determinado através do ajuste de modelos matemáticos lineares determinados através de análise de regressão (escolhendo aquele de maior R^2) entre os teores foliares (abrangendo todo o banco de dados) e a respectiva produtividade, usando o teor foliar como variável dependente. Para determinar o teor ótimo (NC), as 120 amostras de teores foram agrupadas, em 13 classes com os respectivos teores médios de nutrientes conforme utilizado em Bataglia et al. (2004).

O agrupamento foi realizado dividindo as classes de produtividade tendo amplitude de 500 kg ha^{-1}. A partir da relação causal entre a variável produtividade e teor de cada nutriente foram gerados os modelos matemáticos. A partir do modelo matemático, o nível crítico foi estimado como sendo o correspondente a 90% da máxima produtividade na variável explicativa (independente).

Faixa de Suficiência (FS): Este método pode ser definido como a faixa de concentração do nutriente na planta acima da qual há razoável segurança de que a cultura esteja com *status* nutricional adequado e, abaixo dela, há razoável segurança de que a cultura está tão deficiente do nutriente que a produção será negativamente influenciada (Malavolta et al., 1997).

O limite inferior da faixa de suficiência foi definido como o correspondente à média (y) do teor de um nutriente da população de referência (alta produtividade) menos o desvio padrão da mesma (S_y). Por sua vez, o limite superior da faixa de suficiência foi definido como a média do teor de um nutriente da população de referência mais o desvio padrão da mesma. Cada nutriente foi avaliado independente dos demais. Foram construídas tabelas com as faixas calibradas em: deficiente, suficiente e excessivo. A Faixa de Suficiência foi obtida de acordo com a equação abaixo.

$$FS = y \pm Sy$$

sendo:

FC= faixa de concentração do nutriente

y= média da concentração do nutriente na população referência

S_y= desvio padrão da média na população de referência

Índices Balanceados de Kenworthy (IBK): Os Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) foram calculados de acordo com as equações 2 e 3:

Quando A < X	(2)	Quando A > X	(3)
P = (A/X). 100		P = (A/X). 100	
I = (100 – P). (CV/100)		I = (P – 100). (CV/100)	
IBK = P-I		IBK = P-I	

Onde:

A= teor do nutriente na amostra

X= teor de nutrientes médio dos talhões com alta produtividade

CV= coeficiente de variação dos teores de nutrientes nos talhões com alta produtividade

IBK= índice Balanceado de Kenworthy

P= A em % de X

I= influência da variação

De acordo com as equações acima descritas, a variabilidade (CV) tem grande influência na determinação dos índices. Quando o valor da amostra estiver abaixo do padrão a influência da variabilidade é adicionada, caso contrário, ela é subtraída. Os índices padrões são classificados em cinco faixas percentuais:

1) 17 a 50% - deficiente
2) 50 a 83% - abaixo do normal
3) 83 a 117% - normal
4) 117 a 150% - acima do normal
5) 150 a 183% - excessivo

Para determinar as faixas de teores foliares adequados (padrões), ajustou-se modelos matemáticos entre o IBK e teor foliar de cada nutriente. O teor foliar que resulta no modelo ajustado igual a IBK de 100% é considerado como teor ótimo. Os índices diagnósticos (normas) obtidos pelos métodos NC, FS e IBK foram comparados aos apresentados por Malavolta et al. (1997).

Procedimentos estatísticos

As concentrações dos nutrientes e a produtividade foram submetidas à distribuição de freqüência, com distribuição em classes. Foram utilizados alguns parâmetros da estatística descritiva para melhor descrição dos resultados de folhas,

solos e produtividade (média aritmética, mediana, moda, maior, menor, desvio padrão, variância da amostra e coeficiente de variação).

O cálculo das funções e dos índices, para os métodos NC, FS e IBK, foi efetuado com o auxílio de fórmulas e funções inseridas no Microsoft Excel®. Foi realizado teste de normalidade na população de alta produtividade, sendo utilizado o teste de Shapiro Wilk (W) a 5% de probabilidade. A distribuição de frequência das concentrações de nutrientes foi efetuada pelo Software estatístico Sisvar (Ferreira, 2000).

3. Resultados e discussão

Após a pré-avaliação do conjunto de dados, foram excluídos os valores suficientes dissimilar do restante dos dados (*outliers*) com o objetivo de aproximar os dados dos talhões de uma distribuição normal (Tabela 2a).

De acordo com as faixas de produtividade desenvolvidas por Malavolta et al. (1997), 90,8% dos talhões apresentaram produtividades acima daquelas citadas por estes autores. Essa alta porcentagem é explicada pelas características edafoclimáticas favoráveis ao cultivo do milho na região e pelo elevado nível tecnológico aplicado nos sistemas de produção. A média de produtividade do Alto Paranaíba (Tabela 2b) se assemelha as produtividades obtidas pelos agricultores norte americanos, que possuem média de 10.035 kg ha^{-1} de grãos (USDA, 2010). Por outro lado, muito acima da média brasileira que é 4.808 kg ha^{-1} de grãos (CONAB, 2013).

Neste trabalho, os coeficientes de variação para os nutrientes N, P, K, S e Ca são menores do que 25% demonstrando que o conjunto de dados destes nutrientes é homogêneo (Tabela 2b). No entanto, os nutrientes Cu, Fe, Zn, B, Mg e Mn, apresentaram coeficiente de variação maior que 25%, sendo o Mn (48,6%) o nutriente que apresentou o maior CV. Cunha (2005) obteve de modo geral coeficientes de variação mais altos em trabalho realizado em Goianésia (GO) com a cultura do milho. No entanto, este trabalho também apresentou os menores CVs para os macronutrientes e os maiores relacionados aos micronutrientes (Tabela 2b).

Tabela 2a. Classes de produtividade, distribuição de frequência de talhões por classe e média aritmética dos teores foliares dos nutrientes por classe

Classe[1]	Freq.[2]	N[3]	P[3]	K[3]	Ca[3]	Mg[3]	S[3]	Fe[4]	Cu[4]	Mn[4]	Zn[4]	B[4]
<8000	4,2	32,4	2,6	19,7	5,0	2,1	2,5	123,5	7,8	18,3	19,2	11,6
8000-9.499	16,7	34,2	3,2	23,1	5,6	2,6	2,3	131,8	10,3	26,0	21,4	10,1
9.500-10.999	30,0	36,9	3,5	26,5	5,2	2,1	2,4	157,2	11,2	32,3	23,1	11,4
11.000-12.499	37,5	37,1	3,5	26,0	5,5	2,0	2,6	175,0	11,3	30,4	24,2	14,2
12.500-14.000	11,6	38,5	3,6	25,9	4,8	1,8	2,6	147,2	11,9	33,9	24,0	13,6

[1]Classe de produtividade (kg ha^{-1}); [2]Frequência relativa dos 120 talhões (%); [3]g kg^{-1}; [4]mg kg^{-1}.

Tabela 2b. Estatística descritiva [mínimo, média, máximo, desvio padrão (s) e coeficiente de variação (CV)] determinada para macronutrientes[1] e micronutrientes[2], obtidos pela análise foliar da cultura do milho juntamente com suas respectivas produtividades[3], em talhões comerciais[4], na mesorregião do Alto Paranaíba, MG nas safras 2011-2012 e 2012-2013

Variável	Mínimo	Média	Máximo	s	CV(%)
Produtividade[3]	7.361	10.821	13.835	1.461	13,5
N	26,5	36,5	44,1	3,3	9,0
P	2,1	3,4	4,2	3,3	11,2
K	17,7	25,4	34,3	3,5	13,7
Ca	3,2	5,3	7,2	0,9	17,7
Mg	1,4	2,1	3,7	0,9	44,3
S	1,6	2,5	3,5	0,4	15,9
Fe	71,79	157,08	281,13	51,75	32,9
Cu	4,18	11,03	19,79	2,79	25,3
Mn	13,32	30,12	78,64	14,64	48,6
Zn	10,45	23,17	44,04	7,63	32,9
B	4,00	12,49	28,00	4,52	36,2

[1,2]Unidades dos macronutrientes e micronutrientes (g kg^{-1}/mg kg^{-1});[3]Unidade (kg ha^{-1});[4]Amostras analisadas=120.

Foi realizada a média dos teores de nutrientes, na análise de solo dos talhões de referência (Tabela 3). Os solos que proporcionam altos tetos produtivos refletem o *status* de equilíbrio nutricional da planta. Todos os teores de nutrientes nos solos dos talhões de referência foram classificados como "Muito bom" ou "bom" de acordo com critérios de Alvarez et al. (1999), exceto Mg^{+2} e B.

Tabela 3. Principais atributos químicos da análise química do solo na profundidade de 0-0,2m nos talhões comerciais de referência[1] de milho na região do Alto Paranaíba, MG nas safras 2011-2012 e 2012-2013

Atributo[1]	Unidade	Mín.[3]	Med.[4]	5ª apro.[5]	Máx.[6]	S[7]
pH (H_2O)	-	5,6	6,1	-	6,9	0,4
Matério orgânica (MO)	dag kg^{-1}	2,3	3,2	M	4,8	9,4
Fósforo (P)[2]	mg dm^{-3}	1,6	57,8	Mb	212,3	47,4
Potássio (K^+)	mg dm^{-3}	50,8	97,5	B	188,0	33,4
Cálcio (Ca^{+2})	$mmol_c$ dm^{-3}	14,0	33,2	B	57,7	11,8
Magnésio (Mg^{+2})	$mmol_c$ dm^{-3}	3,5	8,3	M	19,2	3,6
Alumínio trocável (Al^{+3})	$mmol_c$ dm^{-3}	0	0	-	0	
CTC a pH 7 (T)	$mmol_c$ dm^{-3}	45,2	77,8	M	100,0	13,9
Saturação por bases (V)	%	42,0	56,1	-	79,6	10,4
Ferro (Fe^{+2})	mg dm^{-3}	16,0	35,8	B	62,0	14,0
Cobre (Cu^{+2})	mg dm^{-3}	1,6	3,2	Mb	5,3	1,3
Manganês (Mn^{+2})	mg dm^{-3}	0,9	8,3	B	18,6	8,2
Zinco (Zn^{+2})	mg dm^{-3}	1,5	8,6	Mb	16,5	4,9
Boro (B)	mg dm^{-3}	0,2	0,5	M	1,2	0,3
		Cátions na CTC				
Ca/CTC	%	30,9	42,7	-	57,7	-
Mg/CTC	%	7,7	10,7	-	19,2	-
K/CTC	%	2,9	3,2	-	4,8	-

[1]Número de talhões= 31; [2]$P_{(Melich-1)}$; $P_{(remanescente)}$= 10,5 mg dm^{-3}; [3]valor mínimo; [4]valor médio; [5]classificação dos valores médios (M=médio; B=bom; Mb=Muito bom) conforme Alvarez et al. (1999); [6]valor máximo; [7]desvio padrão dos valores.

Nível Crítico (NC)

Para a determinação dos teores de nutrientes por meio do (NC) foram ajustadas equações matemáticas entre as classes dos teores de nutrientes em folhas de milho e suas respectivas médias de produtividade (Tabela 4). O modelo de melhor ajuste para essas relações foi o linear, exceto para o Ca.

Os NC_s obtidos dos macronutrientes, exceto o de Mg, se encontram acima dos teores determinados por Malavolta et al. (1997) e Martinez et al. (1999). O possível motivo para os elevados NC_s obtidos foi devido à alta produtividade que estes talhões obtiveram. O menor NC para o Mg, pode ter ocorrido em função do efeito antagônico do alto teor de potássio trocável (K) no solo, de modo que, esse nutriente interfere na absorção do Mg repercutindo na redução da concentração do mesmo na folha enquanto que a concentração de cálcio (Ca) não é afetada conforme constatado por Scherer (1998). Trabalho realizado por Rocha et al. (2007), com produtividade média e máxima de 7.656 e 12.129 kg ha^{-1}, respectivamente, também extrapolaram os teores adequados de macronutrientes em relação aos recomendados pela literatura.

De maneira geral, mesmo sendo uma determinação de valores de referência para uma região especifica, os NC_s dos micronutrientes encontram-se dentro das faixas de suficiência estabelecidas por Malavolta et al. (1997).

Tabela 4. Valores dos Níveis Críticos (NCs) para macronutrientes[1] e micronutrientes[2], obtidas em lavouras comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG nas safras 2011-2012 e 2012-2013

Nutriente	NC[3]	Equação	R^2
N	35,7	$N= 25,660+0,009^{**} P_{90\%}$	0,69
P	3,6	$P= 1,828+1,41.10^{-4**} P_{90\%}$	0,65
K	25,9	$K= 16,532+7,56.10^{-4**} P_{90\%}$	0,43
Ca	5,2	$Ca= -2,874+0,001^{\circ} P_{90\%}-7,47.10^{-8\circ} P_{90\%}\wedge 2$	0,36
Mg	2,0	$Mg= 3,220-9,9.10^{-5**} P_{90\%}$	0,43
S	2,5	$S= 1,785+6,19.10^{-5**} P_{90\%}$	0,44
Fe	163,2	$Fe= 76,664+6,95.10^{-3**} P_{90\%}$	0,29
Cu	11,4	$Cu= 5,622+4,64.10^{-4**} P_{90\%}$	0,46
Mn	30,6	$Mn= 13,139+1,39.10^{-3\circ} P_{90\%}$	0,48
Zn	24,6	$Zn= 9,621+1,20.10^{-3**} P_{90\%}$	0,50
B	13,1	$B= 5,327+6,18.10^{-4**} P_{90\%}$	0,38

[1,2]Unidades dos macronutrientes e micronutrientes (g kg^{-1}/mg kg^{-1}); [3]Calculado a partir de 90% da produtividade de 13.835 kg ha^{-1} ($P_{90\%}$). Equação significativa à 1% (**), significativa à 10% ($^{\circ}$). O número de amostras para análise de regressão= 31.

Faixa de Suficiência (FS)

Foi adotada a produtividade mínima de 11.795 kg ha^{-1} como divisor dos subgrupos de alta e baixa produtividade.

A sequência decrescente de limitação nutricional por deficiência dos 89 talhões da subpopulação de baixa produtividade pelo método FS foi: Fe>N>P>Zn>Cu=K>B=S=Ca>Mn>Mg.

Em geral, as Faixas de Suficiência (FS) para os macronutrientes obtidas no presente trabalho são superiores as encontradas nas recomendações oficiais existentes, exceto para o macronutriente Mg (Tabela 5).

Para o nutriente (P), a redução na amplitude da faixa e o aumento em relação as faixas nutricionais oficiais, pode vir a colaborar com recomendações mais precisas. Este nutriente possui alta variabilidade na demanda nutricional em híbridos de altos tetos produtivos quando cultivados em diferentes regiões conforme comprovado por trabalhos de Von pinho et al. (2009) e Setiyono et al. (2010).

A faixa de suficiência de Mg, abaixo da citada na literatura pode ser reflexo do manejo nutricional adotado nas propriedades. É sabido que a aplicação de altas doses de potássio (K) causam efeito antagônico na absorção e teor de Mg na folha conforme constatado por Scherer (1998). Apesar disso, o Mg foi o menos limitante por deficiência dos nutrientes. Provavelmente os teores foliares de Mg citados na literatura foram obtidos de plantas cultivadas em solos com menor relação Mg/K que a desta pesquisa ou foram obtidas de plantas cultivadas sob solos com maiores teores de Mg.

Em relação aos micronutrientes Zn, Cu e B estes estão dentro da faixa de suficiência citada por Malavolta et al. (1997). Para o Mn, a faixa foi inferior a citada na literatura. A baixa concentração de Mn foliar está associada às lavouras cultivadas em solos com baixo conteúdo de Mn e com pH acima 6,0. Souza et al. (2010), em amostras da camada de 0-20cm, de um Latossolo Vermelho argiloso (Viçosa, MG) e Latossolo Vermelho arenoso (Três Marias, MG), avaliaram variações na absorção de B, Cu, Fe, Mn e Zn durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da soja, induzidas pela fixação biológica de N_2 e pelo pH inicial de amostras dos dois solos. Observaram que para os micronutrientes Cu, Mn e Zn, as diferenças de acúmulos de nutrientes na parte aérea da soja ocorreram em função do pH do solo. Concluíram que o acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea foi significativo em função da acidificação da rizosfera. O pH é uma variável de grande influência na disponibilidade dos nutrientes (Novais et al., 1989). Provavelmente, em função do pH elevado das áreas de cultivo, houve redução no limite inferior da faixa de suficiência de Mn, que ficou inferior ao citado por Malavolta et al. (1997) e do trabalho desenvolvido em Hidrolândia (GO) por Rocha et al. (2007).

As faixas de suficiência obtidas para Fe e Mn foram as de maior amplitude. A maior amplitude influencia negativamente as interpretações. O Mn é considerado o segundo micronutriente de maior importância para a cultura do milho em relação à demanda nutricional (Borges et al., 2009). Neste contexto, é fundamental dar maior ênfase em suprir a deficiência por este nutriente.

A vantagem da regionalização dos valores de referência pela FS foi a redução da amplitude das faixas, que evidenciou maior rigor na interpretação dos resultados dos teores foliares em relação às recomendações de Malavolta et al. (1997) (Tabela 5).

Tabela 5. Teores foliares adequados de macronutrientes[1] (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes[2] (Fe, Cu, Mn, Zn e B) interpretados como faixa: deficiente, adequada e excessiva, obtidas em lavouras comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG nas safras 2011-2012 e 2012-2013

Nutriente	Teor deficiente	Teor adequado	Teor excessivo	Malavolta et al. (1997)[3]
		g kg^{-1}		
N	<34,7	35,0-40,3	>40,3	27,5-32,5
P	<3,3	3,3-3,8	>3,8	2,5-3,5
K	<22,7	22,7-28,9	>28,9	17,5-22,5
Ca	<4,4	4,4-6,2	>6,2	2,5-4,0
Mg	<1,6	1,6-2,2	>2,2	2,5-4,0
S	<2,1	2,1-3,0	>3,0	1,5-2,0
		mg kg^{-1}		
Fe	<122,5	122,5-219,7	>219,7	50,0-250,0
Cu	<9,1	9,1-14,1	>14,1	6,0-20,0
Mn	<17,5	17,5-49,1	>49,1	50,0-150,0
Zn	<17,6	18,0-34,1	>34,1	15,0-50,0
B	<8,9	8,9-17,7	>17,7	15,0-20,0

[1,2]Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}); [3]Recomendações oficiais para a cultura do milho usadas atualmente.

Índices Balanceados de Kenworthy (IBK)

As normas geradas pelo método IBK, em função da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) da população de referência constam na Tabela 6.

Os resultados das faixas de suficiência e teores calculadas pelo IBK foram semelhantes aos métodos NC e FS (Tabela 6). Notou-se que nenhum nutriente extrapolou as faixas que são consideradas excessiva (150-183%) ou deficiente (1-50%).

Após a aplicação dos modelos matemáticos para os teores foliares da população de alta produtividade em função dos índices de Kenworthy, foram obtidos modelos lineares significativos ($p< 0,01$) (Tabela 7). Constatou-se nesse trabalho que os teores ótimos (índice IBK= 100) estimados pelos modelos matemáticos lineares são análogos a média dos teores da população de alta produtividade. Esse fato é explicado conforme dedução matemática da equação geral de Kenworthy apresentada por Kurihara (2004). A ordem de limitação nutricional (mais deficiente ao mais excessivo) de teores foliares na subpopulação de baixa produtividade da cultura do milho estão apresentadas (Tabela 8).

A grande vantagem do IBK, em relação aos métodos NC e FS é a de demonstrar a sequência da limitação nutricional, semelhante ao método DRIS. Com esse conhecimento, associado ao histórico do talhão, pode-se planejar a

prioridade dos nutrientes nas adubações posteriores (Kenworthy, 1967). Lana et al. (2010), em trabalho realizado na região do Alto Paranaíba, MG, avaliaram o estado nutricional do cafeeiro na região citada, com o método DRIS para a interpretação das análises foliares. Após a interpretação das análises foliares, determinaram a sequência de limitação nutricional à produtividade e, por último, aplicaram o método de probabilidade de resposta a adubação (PRA) para definir quais nutrientes tinham maiores chances de responder a adubação. Concluíram que os nutrientes de maior probabilidade de resposta positiva à adubação em lavouras cafeeiras do Alto Paranaíba - MG foram: P, B, Fe, K e Mn.

A sequência mais frequente de limitação nutricional (mais deficiente para o mais excessivo) pelo IBK foi: Fe=Zn>Mn>B>Cu>Ca>P>Mg>K>N>S. Os nutrientes que mais limitaram por deficiência foram Fe=Zn (41,6%) e Mn (36,0%). O nutriente que mais apresentou diagnósticos de excesso foi o Mg (33,7%), de acordo com o padrão de referência obtido. Isso pode ser justificado pelo elevado número de talhões de baixa produtividade com elevado teor de Mg, com média de teores maior, do que a média dos teores do subgrupo de alta produtividade. Possivelmente a elevada aplicação de potássio no subgrupo de alta produtividade pode ter limitado a absorção de Mg em relação ao grupo de baixa produtividade. Essa situação pode caracterizar condições de desbalanço nutricional para o nutriente Mg mesmo na população de referência.

O IBK obteve faixas nutricionais mais amplas em relação a FS. A FS com valores de referência de menor amplitude possibilitam maior precisão na interpretação das análises, minimizando a probabilidade de ocorrência de talhões de baixa produtividade com teores na faixa ótima. Por esse motivo, a FS seria um método mais eficaz em relação ao IBK.

Tabela 6. Teores ótimos de macronutriente (g kg^{-1}) e micronutriente (mg kg^{-1}), faixa normal, normas [média, desvio-padrão (s-padrão) e coeficiente de variação (CV)] determinados pelo Método do Índice Balanceado de Kenworthy (IBK) em lavouras comercias[1] da região do Alto Paranaíba, MG nas safras 2010/2011 e 2011/2012

Nutriente	Teor ótimo	Faixa normal	Normas (variáveis)		
			Média	s-padrão	CV[2]
N	37,4	30,5-44,3	37,4	2,8	7,4
P	3,5	2,9-4,2	3,5	0,3	7,0
K	25,7	20,6-30,5	25,7	3,1	12,2
Ca	5,3	4,2-6,4	5,3	0,9	16,8
Mg	2,0	1,6-2,4	2,0	0,3	15,4
S	2,5	2,0-3,1	2,5	0,4	17,2
Fe	171,5	130,8-212,2	171,5	48,6	28,4
Cu	11,6	9,1-14,1	11,6	2,5	21,5
Mn	33,4	22,7-44,2	33,4	15,8	47,4
Zn	25,8	19,4-32,3	25,8	8,2	31,8
B	13,2	9,9-16,6	13,2	4,4	33,0

[1]Amostras da população de alta produtividade= 31; [2]Unidade em %.

Tabela 7. Modelo matemático para o teor de macronutriente (g kg^{-1}) e micronutriente (mg kg^{-1}) nas amostras[1] foliares de milho em função do Índice Balanceado de Kenworthy (IBK)

Modelo matemático	Amplitude (%)	R^2
$N= -3,004+0,404^{**}I_N$	$84,4<I_N<116,6$	0,9999
$P= -0,270+0,038^{**}I_P$	$87,3<I_P<114,1$	0,9999
$K= -3,561+0,292^{**}I_K$	$83,6<I_K<129,9$	0,9999
$Ca= -1,074+0,064^{**}I_{Ca}$	$69,1<I_{Ca}<129,7$	0,9999
$Mg= -0,353+0,023^{**}I_{Mg}$	$77,0<I_{Mg}<125,1$	0,9999
$S= -0,531+0,031^{**}I_S$	$72,8<I_S<128,1$	0,9999
$Fe= -67,771+2,393^{**}I_{Fe}$	$65,3<I_{Fe}<141,6$	0,9999
$Cu= -3,186+0,148^{**}I_{Cu}$	$70,9<I_{Cu}<142,3$	0,9999
$Mn= -29,957+0,634^{**}I_{Mn}$	$73,6<I_{Mn}<157,4$	0,9999
$Zn= -12,100+0,379^{**}I_{Zn}$	$72,9<I_{Zn}<148,0$	0,9999
$B= -6,573+0,198^{**}I_B$	$68,6<I_B<159,5$	0,9999

[1]Número de amostras utilizados no modelo matemático= 31.

Tabela 8. Produtividade, Índice Balanceados de Kenworthy (IBK) e ordem de limitação nutricional de acordo com padrão de referência

Prod. (kg ha^{-1})	Índice (IBK)											Limitação nutricional (maior>>menor)[1]
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
7361	97	63	75	95	111	103	82	63	68	72	79	Cu=P>Mn>Zn>K>B>Fe>Ca>N>S>Mg
7361	81	65	78	93	103	102	65	57	75	79	99	Cu>P=Fe>Mn>K>Zn>N>Ca>B>S>Mg
7798	86	66	73	85	97	105	87	84	75	73	79	P>Zn=K>Mn>B>Cu>Ca>N>Fe>Mg>S
7800	90	99	88	93	102	97	81	89	80	82	104	Mn>Fe>Zn>K>Cu>N>Ca>S>P>Mg>B
7823	85	78	84	107	122	90	84	78	82	107	99	P=Cu>Mn>K=Fe>N>S>B>Zn>Ca>Mg
8254	74	70	74	98	125	84	71	50	72	65	79	Cu>Zn>P>Fe>Mn>N=K>B>S>Ca>Mg
8350	100	92	97	100	131	83	73	99	75	73	84	Zn=Fe>Mn>S>B>P>K>Cu>N=Ca>Mg
8459	84	77	90	90	107	94	70	78	82	109	84	Fe>P>Cu>Mn>B=N>Ca=K>S>Mg>Zn
8471	93	94	95	84	115	97	102	85	75	70	84	Zn>Mn>Ca>B>Cu>N>P>K>S>Fe>Mg
8535	91	97	91	102	126	111	86	119	114	82	69	B>Zn>Fe>K=N>P>Ca>S>Mn>Cu>Mg
8550	101	87	83	107	78	86	91	70	75	86	104	Cu>Mn>Mg>K>S=Zn>P>Fe>N>B>Ca
8580	100	85	96	93	155	86	65	98	80	83	94	Fe>Mn>Zn>P>S>Ca>B>K>Cu>N>Mg
8580	89	82	87	85	167	93	80	93	71	79	84	Mn>Zn>Fe>P>B>Ca>K>N>SCu>Mg
8640	86	80	92	110	82	83	97	64	70	59	94	Zn>Cu>Mn>P>Mg>S>N>K>B>Fe>Ca
8795	73	84	77	112	130	68	85	77	75	70	79	S>Zn>N>Mn>K=Cu>B>P>Fe>Ca>Mg
8832	80	89	105	115	131	75	86	100	85	104	84	S>N>B>Mn>Fe>P>Cu>Zn>K>Ca>Mg
8832	89	98	94	104	143	86	98	125	123	131	94	S>N>B=K>Fe=P>Ca>Mn>Cu>Zn>Mg
9000	101	105	102	94	105	112	100	96	115	113	109	Ca>Cu>Fe>N>K>P=Mg>B>S>Zn>Mn
9086	96	101	96	105	123	88	80	92	90	95	64	B>Fe>S>Mn>Cu>Zn>K=N>P>Ca>Mg
9134	90	94	87	120	160	115	73	106	96	78	79	Fe>Zn>B>K>N>P>Mn>Cu>S>Ca>Mg
9134	100	91	83	120	175	82	72	86	95	73	74	Fe>Zn>B>S>K>Cu>P>Mn>N>Ca>Mg
9233	103	96	89	101	137	100	58	86	97	76	74	Fe>B>Zn>Cu>K>P>Mn>S>Ca>N>Mg
9348	93	85	100	124	102	96	100	91	89	105	84	B>P>Mn>Cu>N>S>Fe>K>Mg>Zn>Ca
9357	98	101	98	113	109	93	105	120	96	123	114	S>Mn>N=K>P>Fe>Mg>Ca>B>Cu>Zn
9480	102	111	92	119	113	82	78	97	89	92	53	B>Fe>S>Mn>Zn>K>Cu>N>P>Mg>Ca
9589	107	101	121	101	87	95	92	78	83	92	79	Cu>B>Mn>Mg>Fe=Zn>S>Ca=P>N>K
9660	100	96	87	99	97	89	115	133	96	92	53	B>K>S>Zn>Mn=P>Mg>Ca>N>Fe>Cu
9712	104	99	96	128	100	85	105	106	97	73	84	Zn>B>S>K>Mn>P>Mg>N>Fe>Cu>Ca
9729	79	82	111	101	105	93	73	83	87	88	64	B>Fe>N>P>Cu>Mn>Zn>S>Ca>Mg>K
9780	100	108	118	102	100	88	97	77	117	105	109	Cu>S>Fe>Mg=N>Ca>Zn>P>B>Mn>K

Continua...

Produtividade (kg ha^{-1})	Índice (IBK)											Limitação nutricional (maior>>menor)[1]
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
9814	95	98	103	96	82	89	127	85	78	87	139	Mn>Mg>Cu>Zn>S>N>Ca>P>K>Fe>B
10080	102	92	105	108	115	83	71	141	90	92	84	Fe>S>B>Mn>Zn=P>N>K>Ca>Mg>Cu
10099	106	102	78	89	126	95	80	85	100	87	84	K>Fe>B>Cu>Zn>Ca>S>Mn>P>N>Mg
10214	95	99	93	98	99	111	116	99	170	141	104	K>N>Ca>Cu=P=Mg>B>S>Fe>Zn>Mn
10231	105	102	98	119	138	128	98	113	97	119	104	Mn>K>Fe>P>B>N>Cu>Zn>Ca>S>Mg
10298	85	89	94	103	113	96	122	57	82	128	119	Cu>Mn>N>P>K>S>Ca>Mg>B>Fe>Zn
10314	107	106	115	83	85	110	129	91	86	84	104	Ca>Zn>Mg>Mn>Cu>B>P>N>S>K>Fe
10432	105	101	103	125	103	83	88	99	99	76	94	Zn>S>Fe>B>Cu=Mn>P>Mg>K>N>Ca
10445	89	108	112	93	118	91	77	92	85	125	89	Fe>Mn>B=N>S>Cu>Ca>P>K>Mg>Zn
10498	100	100	94	130	134	93	77	114	143	101	69	B>Fe>S>K>N=P>Zn>Cu>Ca>Mg>Mn
10500	112	93	92	111	123	80	72	78	97	84	84	Fe>Cu>S>B=Zn>K>P>Mn>Ca>N>Mg
10540	108	110	100	98	116	103	88	99	72	87	99	Mn>Zn>Fe>Ca>B>Cu>K>S>N>P>Mg
10557	84	98	97	108	124	92	81	113	157	114	74	B>Fe>N>S>K>P>Ca>Cu>Zn>Mg>Mn
10560	94	101	115	98	147	93	62	107	104	95	79	Fe>B>S>N>Zn>Ca>P>Mn>Cu>K>Mg
10608	92	97	125	111	102	93	67	114	75	79	94	Fe>Mn>Zn>N>S>B>P>Mg>Ca>Cu>K
10620	99	113	95	95	124	118	122	128	171	129	84	B>Ca=K>N>P>S>Fe>Mg>Cu>Zn>Mn
10652	99	109	113	87	114	91	79	86	86	79	74	B>Fe=Zn>Mn=Cu>Ca>S>N>P>K>Mg
10671	105	95	109	68	100	90	108	105	118	90	104	Ca>Zn>S>P>Mg>B>Cu=N>Fe>K>Mn
10724	107	97	95	95	118	82	84	99	78	70	99	Zn>Mn>S>Fe>K=Ca>P>B=Cu>N>Mg
10726	97	101	100	77	86	98	128	93	85	71	79	Zn>Ca>B>Mn>Mg>Cu>N>S>K>P>Fe
10740	94	97	108	101	85	82	70	106	78	95	58	B>Fe>Mn>S>Mg>N>Zn>P>Ca>Cu>K
10748	99	79	84	90	138	90	62	78	79	79	79	Fe>Cu>Mn=B=Zn=P>K>Ca>S>N>Mg
10763	98	95	95	73	78	88	121	127	83	87	114	Ca>Mg>Mn>Zn>S>P=K>N>B>Fe>Cu
10763	97	92	102	72	82	111	96	92	88	87	94	Ca>Mg>Zn>Mn>Cu=P>B>Fe>N>K>S
10786	96	109	91	84	102	104	72	98	103	100	79	Fe>B>Ca>K>N>Cu>Zn>Mg>Mn>S>P
10800	102	99	96	104	107	105	90	85	91	76	109	Zn>Cu>Fe>Mn>K>P>N>Ca>S>Mg>B
10800	102	107	103	104	90	102	94	85	85	67	89	Zn>Cu=Mn>B>Mg>Fe>S=N>K>Ca>P
10812	96	99	127	80	82	87	59	71	85	79	89	Fe>Cu>Zn>Ca>Mg>Mn>S>B>N>P>K
10860	89	97	122	127	111	115	118	112	114	105	134	N>P>Zn>Mg>Cu>Mn>S>Fe>K>Ca>B
10866	99	88	92	71	106	97	99	99	88	97	79	Ca>B>Mn=P>K>S>Zn>Cu=N=Fe>Mg

Continua..

Produtividade (kg ha^{-1})	Índice (IBK)											Limitação nutricional (maior>>menor)[1]
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
10873	107	103	114	98	93	109	146	85	87	84	94	Zn>Cu>Mn>Mg>B>Ca>P>N>S>K>Fe
11034	93	92	95	88	88	113	73	93	89	90	79	Fe>B>Ca=Mg>Mn>Zn>P>Cu=N>K>S
11034	105	96	88	119	111	91	115	91	99	81	124	Zn>K>S=Cu>P>Mn>N>Mg>Fe>Ca>B
11041	91	83	107	75	119	97	77	85	78	78	89	Ca>Fe>Zn=Mn>P>Cu>B>N>S>K>Mg
11073	94	98	116	66	94	104	65	156	93	84	94	Fe>Ca>Zn>Mn>B=N=Mg>P>S>K>Cu
11109	110	90	84	90	123	89	68	85	79	68	104	Fe>Zn>Mn>K>Cu>S>Ca=P>B>N>Mg
11210	96	100	101	127	118	113	72	93	107	76	84	Fe>Zn>B>Cu>N>P>K>Mn>S>Mg>Ca
11235	113	110	101	130	98	116	143	128	153	128	94	B>Mg>K>P>N>S>Cu=Zn>Ca>Fe>Mn
11322	100	106	97	108	82	120	142	78	69	101	144	Mn>Cu>Mg>K>N>Zn>P>Ca>S>Fe>B
11323	105	115	112	71	94	110	114	92	78	81	134	Ca>Mn>Zn>Cu>Mg>N>S>K>Fe>P>B
11340	103	107	99	100	98	108	96	78	75	71	175	Zn>Mn>Cu>Fe>Mg>K>Ca>N>P>S>B
11343	105	96	102	110	84	99	101	120	92	84	114	Mg>Zn>Mn>P>S>Fe>K>N>Ca>B>Cu
11343	109	98	91	96	94	92	85	99	80	81	114	Mn>Zn>Fe>K>S>Mg>Ca>P>Cu>N>B
11358	94	97	103	110	109	100	70	141	95	112	94	Fe>N=B>Mn>P>S>K>Mg>Ca>Zn>Cu
11390	97	101	112	111	95	132	114	64	70	73	154	Cu>Mn>Zn>Mg>N>P>Ca>K>Fe>S>B
11400	107	97	93	90	101	85	79	93	87	73	99	Zn>Fe>S>Mn>Ca>Cu>K>P>B>Mg>N
11400	91	108	125	97	91	84	77	92	82	79	129	Fe>Zn>Mn>S>N=Mg>Cu>Ca>P>K>B
11476	99	87	105	99	105	81	67	78	75	93	79	Fe>Mn>Cu>B>S>P>Zn>Ca=N>K>Mg
11520	102	118	111	120	116	111	91	138	113	112	144	Fe>N>K=S>Zn>Mn>Mg>P>Ca>Cu>B
11546	102	114	104	100	105	104	88	92	92	84	79	B>Zn>Fe>Mn=Cu>Ca>N>K=S>Mg>P
11548	106	107	100	89	109	104	115	99	87	90	114	Mn>Ca>Zn>Cu>K>S>N>P>Mg>B>Fe
11615	99	96	93	115	122	113	107	92	77	141	104	Mn>Cu>K>P>N>B>Fe>S>Ca>Mg>Zn
11622	100	101	100	85	94	100	139	99	77	70	99	Zn>Mn>Ca>Mg>B=Cu>S=N=K>P>Fe
11661	84	99	109	97	87	95	134	85	110	112	74	B>N>Cu>Mg>S>Ca>P>K>Mn>Zn>Fe
11709	106	90	90	96	121	103	101	85	83	70	89	Zn>Mn>Cu>B>K>P=Ca>Fe>S>N>Mg
11716	97	108	125	99	92	91	106	92	126	98	129	S>Cu>Mg>N>Zn>Ca>Fe>P>K>Mn>B
11736	88	101	111	127	97	83	63	97	165	141	74	Fe>B>S>N>Cu=Mg>P>K>Ca>Zn>Mn
11743	102	101	95	113	119	87	121	92	87	73	154	Zn>Mn>S>Cu>K>P>N>Ca>Mg>Fe>B
11764	95	93	85	95	123	104	105	92	83	87	84	Mn>B>K>Zn>Cu>P>Ca=N>S>Fe>Mg
média	97	96	99	100	109	96	92	95	93	90	95	Zn>Fe>Mn>Cu=B>P=S>N>K>Ca>Mg

[1]Limitante por deficiência para limitante por excesso.

Comparações entre os métodos NC, FS e IBK

De modo geral, os métodos de diagnose avaliados (NC, FS e IBK) concordaram na indicação de que o teor ótimo está muito próximo da média da população de referência e as faixas ótimas assemelham-se aos valores entre os métodos FS e IBK. Kurihara (2004) ressalta que a concordância era esperada pelo motivo da premissa de que as lavouras de alta produtividade tendem a apresentar o *status* nutricional equilibrado.

Fe, Mn e Zn foram os elementos que se apresentaram com maior frequência nos talhões como limitantes por deficiência nutricional havendo concordância entre os métodos FS e IBK (Tabela 9). Em relação às limitações por excesso, o Magnésio foi o nutriente que se destacou (37,5%) pela FS e (20,8%) pelo IBK.

O nitrogênio está como o segundo nutriente de maior limitação nutricional pelo método FS (Tabela 10). Isso se justifica pelo fato da faixa inferior ter sido muito alta, fazendo com que muitos talhões diagnosticados ficassem fora da faixa adequada.

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., 2010). A determinação de valores de referência tem sido realizada e confrontada entre métodos a fim de obter faixas nutricionais de menor amplitude e intepretações mais exatas (Kurihara, 2004; Urano et al., 2007; Serra et al., 2010; Camacho et al., 2012).

O diagnóstico pela FS pode ser mais interessante devido às faixas mais estreitas de teores ótimos, o que permite diagnóstico mais preciso.

Diante do exposto, sugere-se adotar os teores determinados pelos métodos NC, FS, IBK como valores e faixas de referência para diagnose de talhões comerciais da mesorregião do Alto Paranaíba (MG) como medida de fácil interpretação.

Tabela 9. Frequência de diagnose nutricional para macronutrientes e micronutrientes determinada pelos métodos FS e IBK em talhões comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG nas safras 2011/2012 e 2012/2013

Nutriente	Método	Estado nutricional (%)		
		D[1]	N[2]	E[3]
N	FS	28,1	66,3	5,6
	IBK	5,9	94,4	0
P	FS	27,0	52,8	20,2
	IBK	9,0	91,0	0
K	FS	20,2	61,8	18,0
	IBK	6,7	85,4	7,9
Ca	FS	14,6	66,3	19,1
	IBK	10,1	71,9	18,0
Mg	FS	7,9	55,0	37,1
	IBK	7,9	58,4	33,7
S	FS	14,6	74,2	11,2
	IBK	3,4	93,3	3,4
Fe	FS	34,8	51,7	13,5
	IBK	41,6	43,8	14,6
Cu	FS	20,2	66,3	13,5
	IBK	20,2	66,3	13,5
Mn	FS	9,0	83,1	7,9
	IBK	36,0	53,9	10,1
Zn	FS	25,8	64,0	10,2
	IBK	41,6	47,2	11,2
B	FS	14,6	73,0	12,4
	IBK	30,3	56,2	13,5

[1]Deficiência nutricional; [2]Equilíbrio nutricional; [3]Excesso nutricional.

Tabela 10. Ordem de limitação nutricional (maior para menor) considerando a frequência relativa dos 89 talhões de baixa produtividade (<11.795 kg ha^{-1}) determinada pelo método FS e IBK em talhões comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG nas safras 2011/2012 e 2012/2013

Método	Limitação nutricional (deficiência)	Limitação nutricional (excesso)
FS[1]	Fe>N>P>Zn>Cu=K>B=S=Ca>Mn>Mg	Mg>P>Ca>K>Fe=Cu>B>S>Zn>Mn>N
IBK[2]	Fe=Zn>Mn>B>Cu>Ca>P>Mg>K>N>S	Mg>Ca>Fe>Cu=B>>Zn>Mn>K>S=N=P

[1]Método da Faixa de Suficiência; [2]Método Índice Balanceados de Kenworthy.

4. Conclusões

Os índices diagnósticos foliares ou valores de referência (normas) desenvolvidos para interpretação de resultados de análise foliar para a região do Alto Paranaíba foram distintos aqueles desenvolvidos em outros locais para a cultura do milho.

Os índices diagnósticos gerados pelo método FS é o recomendado para ser utilizado como padrão de referência.

O diagnóstico apresentado neste trabalho aponta que os nutrientes de maior limitação nutricional por deficiência, foram o Ferro (Fe), Manganês (Mn) e o Zinco (Zn) e, por excesso, o Magnésio (Mg).

5. Referências bibliográficas

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; SANTOS, W.R.; ABREU, M.F. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e freqüência de resposta na produção**. Bragantia**, v.63, p.253-263, 2004.

BORGES, I.D.; VON PINHO, R.G.; PEREIRA, J.L.A.R. Acúmulo de micronutrientes em híbridos de milho em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1018-1025, 2009.

BROCKLEY, R.P. Foliar analysis as a planning tool for operational fertilization. Proceedings of Enhanced Forest Management: Fertilization e Economics Conference, 2001.

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 laranjeira-pera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.46, p.193-200, 2012.

CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendações de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L (Eds.). **Fertilidade do Solo**, Viçosa, MG, SBCS, 2007. p.769-850.

COELHO, F.S.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; BRAUN, H.; SILVA, I.R. Value and prediction of critical content-level to assess the nitrogen status of the potato. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.155-122, 2013.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira: grãos: quarto levantamento, Janeiro 2013. Brasília, 2013. 28p.

CUNHA, P. P. **Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) para a cultura do milho (*Zea mays* L.) na região de Goianésia, Goiás.** 2005. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

DIAS, J.RM.; WADT, P.G.S.; TUCCI, C.A.F.; SANTOS, J.Z.L.; SILVA, S.V. Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranjeira 'Pera' no estado do Amazonas. **Revista Ciência Agronomica**, v.44, p.251-259, 2013.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais**. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

KENWORTHY, A.L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: REUTHER, W. **Plant analysis and fertilizers problems.** Washington, American Institute of Biological Science, 1961. p.28-23.

KENWORTHY, A.L. Plant analysis and interpretation of analysis for horticulture crops. In: SOIL SCIENCE OF AMERICAN. **Soil testing; plant analysis**. Plant analysis part II. Madison, 1967. p.59-75. (SSSA Special publication, 2).

KURIHARA, C.H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. 101p. (Tese de Doutorado).

LANA, R.M.Q.; OLIVEIRA, S.A; LANA, Â.M.Q.; FARIA, M.V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1147-1156, 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., Piracicaba, Potafos, 1997. p.115-230.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.,V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 143-168.

NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.199-204, 1989.

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

REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. **Plant analysis-an interpretation manual**. Collingwood: Second Edition, CSIRO Publishing, 1997. 572p.

ROCHA, A.C.; LEANDRO, W.M.; ROCHA, A.O.; SANTANA, J.G.; ANDRADE, J.W.S. Normas DRIS para cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO, Brasil. **Bioscience Journal**, v.23, p.50-60, 2007.

SCHERER, E.E. Resposta da soja à adubação potássica em Latossolo Húmico distrófico num período de doze anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.49-55, 1998.

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, p.97-104, 2010.

SETIYONO, T.D.; WALTERS, D.T.; CASSMAN, K.G.; WITT, C.; DOBERMANN, A. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**, v.118, p.158-168, 2010.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa, 1999. 370p.

SOUZA, L.H.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; VILLANI, E.M.A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1641-1652, 2010.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). World Agricultural Supply and Demand Estimates. Jun./2010. Disponível em: < http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.p df>. Acesso em: 14 jun. 2012.

URANO, E.O.M.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.63-72, 2007.

VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; PEREIRA, J.L.A.R.; REIS, M.C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, p.157-173, 2009.

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.

CAPÍTULO II - ÍNDICES DIAGNÓSTICOS FOLIARES PARA O MILHO PELOS MÉTODOS DRIS, COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E CHANCE MATEMÁTICA

Resumo

Na atualidade, a análise foliar tem sido relevante como método de diagnóstico do estado nutricional das plantas. Objetivou-se, com este trabalho, determinar valores de referência (normas) para interpretação de resultados de análise foliar de milho pelos métodos: Chance Matemática (ChM), Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) e Composição Nutricional (CND). Coleta de dados em lavouras comerciais de milho foram realizadas, nas safras agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, na região do Alto Paranaíba, MG. Foram amostrados folhas e produtividade de 64 talhões na safra agrícola 2011/2012 e de 66 talhões na safra 2012/2013, em talhões com área entre 5 e 60 hectares. Para adequar a metodologia dos métodos (DRIS e CND), a população foi dividida em duas subpopulações: a de alta produtividade (igual ou acima de 11.795 kg ha^{-1}) e a de baixa produtividade (menos que 11.795 kg ha^{-1}). Para o método da ChM, as produtividades e os teores foram distribuídos em classes. As faixas normais do método ChM foram diferentes daqueles propostos pelos métodos DRIS e CND. As amplitudes das faixas ótimas mostraram-se menores quando comparadas às faixas de suficiência encontradas na literatura no Brasil. O desenvolvimento dos valores de referência (normas) em nível regional aumenta a confiabilidade nos diagnósticos pois os talhões de referência apresentam as mesmas características dos talhões que serão diagnosticados.

Palavras-chave: *Zea mays*, balanço nutricional, índices diagnósticos regionais.

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. Para muitos nutrientes, em solos de fertilidade corrigida, a eficiência de recuperação da planta é baixa (Santos et al., 2008). Quando ocorre a saturação da velocidade de absorção a quantidade absorvida não se altera com o aumento da concentração do nutriente no solo. Nesse caso, a aplicação de fertilizante em quantidade excessiva para um único nutriente pode levar a um efeito de interação competitiva com os demais nutrientes de mesma semelhança química, desequilibrando a nutrição da planta. A absorção e acúmulo dos nutrientes podem ser afetados por vários fatores edafoclimáticos, muitas vezes promovendo a redução da produtividade. Isto leva a necessidade de auxílio de outros métodos de diagnóstico da fertilidade do solo, além da análise de solos com objetivo de planejar, avaliar e calibrar as recomendações de adubação (Reis Junior et al., 2002).

O método de diagnose de maior relevância na definição e interpretação do estado nutricional das plantas é a análise de tecidos vegetais (Malavolta et al., 1997). 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 e Parent, 2011)

Para que se possa realizar a interpretação correta do estado nutricional da cultura, torna-se necessário o uso de método que confronte padrão nutricional condizente com os talhões a serem diagnosticados (Parent, 2011). Os métodos Chance Matemática (ChM), idealizado por (Wadt, 1996), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), idealizado por Beaufils (1973) e Diagnose da Composição Nutricional (CND), idealizado por Parent & Dafir (1992) têm sido demonstrados como promissores. Estes métodos permitem à interpretação do estado nutricional de talhões comerciais para as culturas anuais (Urano et al.,

2006; Rocha et al., 2007; Serra et al., 2010a). Estes modelos (ChM, DRIS e CND) têm sido chamados, de métodos promissores.

Os métodos ChM, DRIS e CND foram desenvolvidos para trabalhar com condições de alta variabilidade (talhões comerciais). Estes métodos consideram as relações entre nutrientes e possuem a vantagem de diagnosticar e ordenar a limitação nutricional em classes. Além disso, parecem estar menos expostos às possíveis interferências de particularidades ambientais (Bataglia & Dechen, 1996). No caso das culturas anuais e perenes, o uso destes métodos proporcionou a determinação e atualização de normas em algumas regiões brasileiras (Reis, 2002; Serra et al., 2010a; Camacho et al., 2012) e em outros países (Magallanes-Quintanar et al., 2006; Urricariet et al., 2004; Høgh-Jensen et al., 2009).

Os métodos possibilitaram a determinação dos índices diagnósticos ou normas (valores de referências) que foram obtidas através da determinação de população de plantas de alta produtividade da cultura que não foram submetidas a condições de restrições nutricionais (Serra et al., 2010b). Todavia, alguns índices diagnósticos obtidos em outras pesquisas (Magallanes-Quintanar et al., 2006; Rocha et al., 2007; Høgh-Jensen et al., 2009), foram obtidos em condições edafoclimáticas, práticas culturais e sistemas produtivos distintos daquelas da região do Alto Paranaíba. Em suma, a aplicação de métodos promissores de diagnóstico nutricional visando o refinamento das normas para a cultura o milho na região do Alto Paranaíba poderá proporcionar avanços na melhoria na utilização de fertilizantes e aumentar a rentabilidade do sistema de produção do milho.

Objetivou-se, com esta pesquisa, determinar índices diagnósticos foliares (normas), para interpretação de resultados de análise foliar de milho no Alto Paranaíba – MG pelos métodos de interpretação ChM, DRIS e CND.

2. Material e métodos

Localização e caracterização da região de estudo

Para a composição do banco de dados para geração dos índices diagnósticos foliares procedeu-se a coleta de folhas e da produtividade em 130 talhões comerciais na região do Alto Paranaíba – MG. Foram coletados os dados

de 64 talhões na safra agrícola 2011/2012 e de 66 talhões na 2012/2013. A localização e os dados climáticos dos municípios onde foram amostrados os talhões encontram-se na Tabela 1.

Nos talhões amostrados, de modo geral, o solo apresenta textura argilosa e são classificados como Latossolos Vermelho-Amarelos. O clima da região é tropical (classificado como Aw segundo Köppen-Geiger) com estação seca e período chuvoso bem definido, que ocorre entre os meses de outubro e março.

Tabela 1. Localidades, localização geográfica[1], e dados climáticos da origem das amostras

Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Precip[2]	$T_{máx.}$ (ºC)[3]	$T_{min.}$ (ºC)[4]
Carmo do Paranaíba	18º98'S	46º35'W	1.000	1474	27,5	16,3
Ibiá	19º48'S	46º54'W	1.030	1574	26,5	15,7
Patos de Minas	18°34′S	46°31'W	842	1474	27,8	16,3
Patrocínio	18°56'S	46°59'W	973	1569	27,9	14,8
Rio Paranaíba	19º19'S	46º24'W	1.100	1574	26,5	15,7
São Gotardo	19º31'S	46º05'W	1.143	1426	28,5	14,5
Serra do Salitre	18º50'S	46º32'W	1.200	1569	27,9	14,8
Tiros	19º02'S	45º56'W	1.021	1442	28,8	16,5

[1]Coordenadas da sede do município; [2]Precipitação (mm ano^{-1}); [3]Temperatura máxima média anual; [4]Temperatura mínima média anual.

Composição e processamento do banco de dados

As variáveis utilizadas para a formação do banco de dados foram: resultados das análises químicas do tecido vegetal para N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B, juntamente com o valor de produtividade. O banco de dados organizado em planilhas eletrônicas foi abrangente devido às diferentes condições de sistemas de manejo dos solos, genótipo e edafoclimáticas.

Seleção das propriedades amostradas

Os talhões amostrados apresentaram área cultivada entre 5 e 60 ha, sem uso de irrigação e com boas técnicas de cultivo do milho na região do Alto Paranaíba. Selecionaram-se 120 talhões dos 130 amostrados. Esse número foi considerado adequado para o desenvolvimento da pesquisa de acordo com trabalhos de Urano et al. (2006) e Rocha et al. (2007). Dos 130 talhões, foram excluídos talhões em que ocorreram eventos climáticos extremos como veranicos

ou granizo ou ainda afetados por condições como severa ocorrência de pragas ou doenças.

Coleta de solos, folhas, análise de nutrientes e produtividade

Para obter os teores no diagnóstico nutricional da lavoura, utilizou-se receptor de GPS (Global Positioning System) de navegação, com a finalidade de georreferenciar a amostragem de solos, folhas e produtividade do milho no mesmo ponto amostral. Foram georeferenciados dois pontos amostrais por talhão, respeitando-se pelo menos 20 metros de bordadura a partir da extremidade da lavoura. Em cada ponto amostral, amostraram-se solos, folhas e a produtividade ao final do ciclo em um raio de 10 metros.

Para caracterização química de solos, antes da semeadura do milho foram retiradas amostras de solo em cada ponto amostral. Foi utilizada metodologia específica para amostragem no Sistema Plantio Direto quando for o caso (Alvarez et al., 1999). As amostras foram secas à sombra e posteriormente acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados para as análises químicas.

Os procedimentos laboratoriais, seguiram a metodologia descrita por (Silva, 1999), para matéria orgânica, pH, P, K^{+}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, B, Al^{+3} e H+Al. Para extração do P, K^{+}, Cu^{+2}, Fe^{+2}, Mn^{+2} e Zn^{+2} no solo foi empregado o extrator Mehlich 1. Para extração do B foi empregada água quente. Ca^{+2}, Mg^{+2} e Al^{+3} foram extraídos com KCl 1mol L^{-1}.

Foram amostradas 30 folhas por ponto georeferenciado no estádio R1 (emissão do estilo na espiga). Este é o estádio recomendado para a coleta de folha na cultura do milho (Malavolta et al., 1997; Rocha et al., 2007). As folhas de cada ponto georeferenciado foram reunidas para compor uma amostra composta. Para cada amostra individual foi coletado apenas a folha índice, que consistiu na 1ª folha fisiologicamente madura, oposta e abaixo à espiga. A amostra simples da folha, restringiu-se apenas da porção central do limbo foliar, sendo descartada a nervura principal e as extremidades, conforme Malavolta et al. (1997). No final da amostragem as 60 folhas de cada talhão foram acondicionadas em sacos de papel.

No processamento laboratorial, o material vegetal (lâminas de folha) foi lavado em solução 0,1% de detergente e enxaguado com água destilada. A amostra foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até atingir massa

constante e foi triturada em moinho de lâminas tipo Willey equipado com peneira de malha 1,27 mm.

Foram determinados os teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1997). Os teores de macronutrientes foram expressos em g kg^{-1} e, os de micronutrientes, em mg kg^{-1}.

No estádio R6, a produtividade de grãos foi determinada a partir da amostragem de quatro linhas de cultivo, com cinco metros cada, em cada ponto amostral, respectivamente. A umidade dos grãos foi, em seguida, determinada para que a produtividade fosse corrigida para 13% de umidade em base úmida (b.u.).

Obtenção dos valores de referência

Foi estabelecido um padrão de referência de teores foliares (normas) conforme utilizado por Serra et al. (2010a). Para separar estes dois grupos foi determinada a produtividade média + 2/3 desvio padrão dos talhões comerciais da região do Alto Paranaíba. Assim, adotou-se a produtividade mínima de 11.795 kg por hectare como divisor dos dois subgrupos, conforme utilizado em trabalho de Camacho et al. (2012) e Wadt et al. (2012).

Os talhões com produtividade superior da produtividade referência enquadraram-se no grupo de alta produtividade. Aqueles com produtividade inferior da produtividade de referência foram considerados como de baixa produtividade. Dentro do grupo de alta produtividade foi determinada a população nutricionalmente equilibrada (Beaufils, 1973). Para interpretação dos resultados da análise foliar utilizou-se os métodos: Chance Matemática (ChM), Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Diagnose da Composição Nutricional (CND).

Obtenção dos índices diagnósticos foliares pela Chance Matemática (ChM)

Neste método, os teores foliares de cada nutriente foram classificados em ordem crescente e relacionados à produtividade obtida nos respectivos talhões. Em seguida, para cada nutriente foi determinada a amplitude (A) do teor e calculado o número de classes (I) baseado no tamanho da amostra (n), em que $I = n^{0,5}$. O quociente entre amplitude e número de classes resultou no comprimento

de cada intervalo de classe (IC= A/I) tomando como referência que a produtividade de referência de 11.795 kg ha^{-1} (Wadt, 1996). Os talhões que foram considerados como lavouras de alta produtividade seriam todos aqueles que enquadrassem em produtividades superiores a 11.795 kg ha^{-1} de grãos.

O cálculo da chance matemática para cada classe de teor do nutriente em estudo foi realizado conforme (Wadt, 1996), (Equação 1):

$$ChMat(i) = \left\{[P(Ai/A).PROD(i)].[P(Ai/Ni).PROD(i)]^{0,5}\right\} \quad (1)$$

Onde:

ChM(i)= chance matemática (kg ha^{-1}) na classe "i".

P(Ai/A)= freqüência de talhões de alta produtividade na classe "i", em relação ao total geral de talhões de alta produtividade

P(Ai/Ni)= freqüência de talhões de alta produtividade na classe "i", em relação ao total de talhões da classe "i"

PROD(i)= produtividade média dos talhões de alta produtividade na classe "i" (kg ha^{-1}).

Posteriormente, calculou-se a Chance Matemática Relativa (ChMR), e atribui-se, para cada nutriente, o valor 100% ao maior valor da (ChM), conforme proposto por Alves (2012). Calculou-se também a média do teor foliar (TM) de cada classe "i". As classes escolhidas para representar a faixa adequada para cada nutriente ou faixa de suficiência foram os dois maiores valores de ChM e ChMR de acordo com metodologia proposta por Wadt et al. (1998).

Obtenção dos índices diagnósticos foliares pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

Inicialmente calculou-se a razão de variância das relações entre nutrientes da sub-população de referência e de baixa produtividade, tanto na relação direta como na inversa (Letzch, 1985). Para cada relação dual direta ou inversa, foi escolhida a média da relação, que apresentou a maior razão de variância entre a população de alta e a de baixa produtividade. O método reduzido proposto por Jones (1981) foi escolhido por ser o que apresentou melhor correlação com produtividade quando comparado com outros métodos (Serra et al., 2010) (Equação 2):

$$F(A/B) = \left(A/B - a/b\right).(k/s) \quad (2)$$

Onde:

$F(A/B) =$ função calculada da relação entre nutrientes A e B

$A/B =$ relação de nutriente da amostra (g kg^{-1} ou mg kg^{-1})

$a/b =$ relação de nutriente da norma (g kg^{-1} ou mg kg^{-1})

$k =$ constante de sensibilidade

$s =$ desvio padrão da relação de nutrientes da norma

Em que, k = 10 = fator de ajuste adotado (Serra et al., 2010) e A/B e B/A são as médias aritméticas das relações diretas e inversas.

Após o cálculo da relação entre os nutrientes, o índice DRIS (I_A) foi definido para o nutriente *A*, pela equação 3:

$$I_A = \frac{F(A/B) + F(A/C) + ... + F(A/N) - F(B/A) - F(Z/A) - .... - F(N/A)}{2\,(n-1)} \quad (3)$$

Onde:

$I_A =$ Índice DRIS para o nutriente *A*

$A =$ nutriente para o cálculo do índice

$B =$ outro nutriente a ser analisado

$n =$ número de nutrientes envolvidos na análise

O teor ótimo para cada nutriente foi determinado de acordo com o ajuste de um modelo matemático. Relacionaram-se os valores do índice DRIS (I_A) com o teor do nutriente na população de referência de acordo com Reis Júnior. (2002) (subpopulação de alta produtividade). O teor do nutriente foi considerado como variável dependente na equação. O teor ótimo foi estimado para o índice DRIS nulo (condição de equilíbrio do nutriente). O limite inferior da faixa de suficiência foi considerado como teor ótimo estimado -2/3 s. Por sua vez, o limite superior da faixa de suficiência foi definido como o teor ótimo estimado +2/3 s.

A soma dos valores absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente resultou no Índice de Balanço Nutricional (IBN), conforme equação 4.

$$\text{IBN} = |I_A| + |I_B| + |I_C| + ... + |I_N| \quad (4)$$

Onde:

I_A= Índice DRIS

O quociente entre o valor de IBN e o somatório de nutrientes analisados (n) definiu o Índice de Balanço Nutricional médio (IBN_m), que representa a média dos desvios de cada nutriente em relação ao valor de referência (Serra et al., 2010) (Equação 5).

$$\text{IBN}_\text{m} = \sum |I_A| + |I_B| + |I_C| + ... + |I_N| * 1/\text{n} \quad (5)$$

Onde:

I_A= Índice DRIS para o nutriente *A*

n= número de nutrientes avaliados

Obtenção dos índices diagnósticos foliares pelo método da Composição Nutricional (CND)

Para obtenção dos índices diagnósticos foliares (normas) pelo método CND, os teores foliares dos talhões da população de referência foram utilizados (preestabelecidos) de acordo com Khiari et al. (2001) e Wadt et al. (2012) para calcular as variáveis multinutrientes. As normas foram determinadas pela média e o desvio padrão médio das variáveis multinutrientes da população de alta produtividade.

Inicialmente, os valores de macro e micronutrientes foram transformados para valores de mesma unidade (g kg^{-1}). Posteriormente, determinou-se o valor de toda biomassa foliar que não representa os nutrientes avaliados (R), de acordo com a equação 6:

$$\text{R} = 100 - (\text{V}_\text{X} + \text{V}_\text{P} + \text{V}_\text{K} + ... + \text{V}_\text{Z}) \quad (6)$$

Onde:

R: Valor da biomassa foliar que não representa os nutrientes avaliados

V_x: Teor do nutriente X, em %

A partir do valor de (R), determinou-se a média geométrica (G) e a variável multinutriente de acordo com as equações adaptada de Khiari et al. (2001) (Equações 7 e 8):

$$G = \left(X_N x\, X_P\, x\, X_K .... x\, X_Z\, x\, R\right)^{(1/n+1)} \quad (7)$$

$$Vi = \ln\left(Xi/G\right) \quad (8)$$

Onde:

G= média geométrica

R= valor da biomassa foliar que não representa os nutrientes avaliados

X_i= teor do nutriente X, em dag kg^{-1}

n= número de nutrientes

V_i= variável multinutriente do nutriente N

O índice do CND de cada nutriente foi obtido pela fórmula de Jones (1981) (Equação 9):

$$I_x = (Vi - vi)/s_x \quad (9)$$

Onde:

I_x = Índice CND de um nutriente (X)

Vi= relação multivariada para o nutriente na subpopulação de alta produtividade

vi= relação multivariada para o nutriente na amostra a ser diagnosticada

s_x = desvio padrão da variável multinutriente na subpopulação de alta produtividade

O teor ótimo para cada nutriente foi determinado de acordo com o ajuste de um modelo matemático entre os valores do índice CND (I_x) e o teor do nutriente na população de referência. O teor do nutriente foi considerado com variável dependente na equação. O teor ótimo foi estimado para o I_x nulo (condição de equilíbrio nutricional). O limite inferior da faixa de suficiência foi considerado como teor ótimo estimado -2/3 s. Por sua vez, o limite superior da faixa de suficiência foi definido como o teor ótimo estimado +2/3 s.

Potencial de resposta à adubação (PRA)

A partir dos índices dos métodos DRIS e CND, os nutrientes foram classificados de acordo com o conceito de potencial de resposta à adubação (PRA), validado por Lana et al. (2010) e Wadt et al. (2012). Foram determinadas cinco classe de acordo com o estado nutricional (Tabela 2), conforme Wadt (2005).

Tabela 2. Critério para interpretação do Potencial de Resposta à Adubação de acordo com índice DRIS proposto por Wadt (1996)

Estado nutricional	PRA[1]	Criterio de determinação
Mais deficiente	Muito Alto	i) $ID_x < 0$; ii) $\lvert ID_x \rvert > IBN_m$; iii) ID_x= menor índice
Deficiente	Alto	i) $ID_x < 0$; ii) $\lvert ID_x \rvert > IBN_m$
Equilibrado	Nulo	i) $\lvert ID_x \rvert < IBN_m$
Em excesso	Baixo	i) $ID_x > 0$; ii) $\lvert ID_x \rvert > IBN_m$
Em maior excesso	Muito baixo	i) $ID_x > 0$; ii) $\lvert ID_x \rvert > IBN_m$; iii) ID_x= maior índice

ID_x= índice DRIS ou CND do nutriente em diagnose; IB_n= índice de balanço nutricional médio.

Procedimentos estatísticos

O cálculo das funções e dos índices, para os métodos ChM, DRIS e CND, foram efetuados com o auxílio de fórmulas e funções inseridas no Microsoft Excel®.

A normalidade dos desvios na população de alta produtividade, foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk a 5%.

Em função do elevado número de amostras, utilizou-se de parâmetros da estatística descritiva para melhor descrição dos resultados (média aritmética, mediana, moda, maior, menor, desvio padrão, variância da amostra e coeficiente de variação).

Coeficientes dos modelos de regressão ajustados entre teores de nutrientes e os índices DRIS e CND foram testados pelo teste t à 5 e 1%.

3. Resultados e discussão

Chance Matemática (ChM)

A escolha da faixa nutricional ótima foi realizada em função dos agrupamentos dos dois maiores valores da (ChM) entre as 11 classes definidas pelo método. A ChMR foi inserida nas classes para tornar as escolhas mais precisas.

As duas classes de maior valor encontram-se em sequência para o N (8 e 9), P (8 e 9), K (6 e 7), e Mg (2 e 3) (Tabela 3). Para esses nutrientes a amplitude da faixa foi reduzida em função da maior proporção de talhões de alta produtividade situados nestas classes em relação ao número total de talhões. Para

esses quatro nutrientes as duas classes de maior ChMR foram distintas das classes anteriores e das posteriores.

Para os nutrientes N, P e K o método da chance matemática estimou faixa de valores de referência elevadas N (37,7-40,9), P (3,4-3,8), K (25,2-28,2), sendo estes superiores aos valores estabelecidos por Malavolta et al 1997, que teve como resultado as seguintes faixas: N (27,5-32,5), P (2,5-3,5) e K (17,5-22,5).

Em relação ao enxofre (S) e cálcio (Ca) a distribuição dos valores da ChM foi dispersa entre as classes. As maiores ChMR ficaram na 3ª e 5ª classe para o Ca e para o S entre a 7ª e 10ª.

Para o Mn as classes de maior ChMR foram a 2º e a 8º. A maior parte dos talhões de alta produtividade tiveram os valores agrupados nas menores classes de teores (PA_i/A).

O Ferro foi o único nutriente que se distribuiu nas 11 classes nutricionais e que teve a distribuição mais heterogênea. Fato que evidencia a heterogênea distribuição dos talhões de alta produtividade em relação à frequência total de talhões de alta produtividade (PA_i/A).

A ordem decrescente de limitação nutricional determinada pelo método foi S>N>Fe>Zn=Cu>K>P>B>Mn>Ca>Mg. Os valores para os nutrientes S (68,5%), N (65,2%) e Fe (64,0%), foram os mais negativos, ou seja, são os nutrientes de maior limitação. Em se tratando da desordem nutricional por excesso, o nutriente Mg (68,5%) foi o de maior limitação.

Tabela 3. Valores de chance matemática (ChM) estabelecidos para diferentes classes de frequência para macro e micronutrientes em amostras foliares de milho, coletadas em talhões comerciais na região do Alto Paranaíba, MG. Safra 2011-2012 e 2012-2013

Classe (i)[1]	Li[2]	Ls[3]	TM[4]	P(Ai/A)[5]	P(Ai/Ni)[6]	PRODi[7]	ChMi[8]	ChMR (%)[9]
	g kg^{-1}					kg ha^{-1}		
				Nitrogênio				
1	26,50	28,10	27,30	0,00	0,00	0	0	0,0
2	28,10	29,70	28,90	0,00	0,00	0	0	0,0
3	29,70	31,30	30,50	0,03	0,20	12297	988	22,1
4	31,30	32,90	32,10	0,00	0,00	0	0	0,0
5	32,90	34,50	33,70	0,13	0,29	12385	2378	53,2
6	34,50	36,10	35,30	0,13	0,22	12445	2107	47,1
7	36,10	37,70	36,90	0,13	0,16	12283	1765	39,5
8*	37,70	39,30	38,50	0,29	0,43	12676	4471	100,0
9*	39,30	40,90	40,10	0,19	0,27	12856	2954	66,1
10	40,90	42,50	41,70	0,06	0,50	11810	2121	47,4
11	42,50	44,10	43,30	0,03	0,50	12774	1622	36,3
				Fósforo				
1	2,00	2,20	2,10	0,00	0,00	0	0	0,0
2	2,20	2,40	2,30	0,00	0,00	0	0	0,0
3	2,40	2,60	2,50	0,00	0,00	0	0	0,0
4	2,60	2,80	2,70	0,00	0,00	0	0	0,0
5	2,80	3,00	2,90	0,00	0,00	0	0	0,0
6	3,00	3,20	3,10	0,10	0,30	12604	2148	45,7
7	3,20	3,40	3,30	0,16	0,26	12164	2506	53,4
8*	3,40	3,60	3,50	0,32	0,24	12533	3515	74,9
9*	3,60	3,80	3,70	0,26	0,53	12659	4696	100,0
10	3,80	4,00	3,90	0,13	0,25	12574	2258	48,1
11	4,00	4,20	4,10	0,03	0,20	12752	1024	21,8
				Potássio				
1	17,70	19,20	18,45	0,00	0,00	0	0	0,0
2	19,20	20,70	19,95	0,00	0,00	0	0	0,0
3	20,70	22,20	21,45	0,13	0,33	12486	2589	61,7
4	22,20	23,70	22,95	0,13	0,22	12284	2080	49,5
5*	23,70	25,20	24,45	0,19	0,24	12402	2673	63,7
6	25,20	26,70	25,95	0,16	0,25	13059	2622	62,4
7*	26,70	28,20	27,45	0,23	0,50	12497	4199	100,0
8	28,20	29,70	28,95	0,06	0,20	12316	1399	33,3
9	29,70	31,20	30,45	0,03	0,17	12360	906	21,6
10	31,20	32,70	31,95	0,00	0,00	0	0	0,0
11	32,70	34,20	33,45	0,06	0,33	12510	1835	43,7

Continuação...

Classe (i)[1]	Li[2]	Ls[3]	TM[4]	P(Ai/A)[5]	P(Ai/Ni)[6]	PRODi[7]	ChMi[8]	ChMR (%)[9]
	g kg^{-1}					kg ha^{-1}		
				Cálcio				
1	3,20	3,56	3,38	0,03	0,17	13005	954	28,6
2	3,56	3,92	3,74	0,03	0,25	12030	1080	32,4
3	3,92	4,28	4,10	0,06	0,40	12960	2082	62,4
4	4,28	4,64	4,46	0,10	0,23	12803	1913	57,4
5*	4,64	5,00	4,82	0,19	0,35	12764	3336	100,0
6	5,00	5,36	5,18	0,13	0,18	13046	1998	59,9
7	5,36	5,72	5,54	0,16	0,36	12337	2961	88,8
8*	5,72	6,08	5,90	0,06	0,14	12047	1157	34,7
9	6,08	6,44	6,26	0,13	0,44	12079	2893	86,7
10	6,44	6,80	6,62	0,03	0,14	11846	804	24,1
11	6,80	7,16	6,98	0,06	0,20	12006	1364	40,9
				Magnésio				
1	1,40	1,61	1,51	0,13	0,27	12752	2365	64,3
2*	1,61	1,82	1,72	0,19	0,43	12781	3681	100,0
3	1,82	2,03	1,93	0,26	0,30	12722	3518	95,6
4*	2,03	2,24	2,14	0,13	0,21	12472	2056	55,8
5	2,24	2,45	2,35	0,23	0,35	12040	3385	92,0
6	2,45	2,66	2,56	0,03	0,08	12180	632	17,2
7	2,66	2,87	2,77	0,00	0,00	0	0	0,0
8	2,87	3,08	2,98	0,00	0,00	0	0	0,0
9	3,08	3,29	3,19	0,00	0,00	0	0	0,0
10	3,29	3,50	3,40	0,00	0,00	0	0	0,0
11	3,50	3,71	3,61	0,00	0,00	0	0	0,0
				Enxofre				
1	1,58	1,76	1,67	0,03	0,50	11880	1509	42,4
2	1,76	1,94	1,85	0,06	0,50	12124	2178	61,1
3	1,94	2,12	2,03	0,06	0,11	12463	1055	29,6
4	2,12	2,30	2,21	0,16	0,22	12490	2339	65,7
5	2,30	2,48	2,39	0,10	0,16	12663	1565	44,0
6	2,48	2,66	2,57	0,13	0,29	12501	2400	67,4
7*	2,66	2,84	2,75	0,19	0,40	12800	3562	100,0
8	2,84	3,02	2,93	0,16	0,31	12650	2840	79,7
9	3,02	3,20	3,11	0,00	0,00	0	0	0,0
10	3,20	3,38	3,29	0,06	1,00	12276	3118	87,6
11*	3,38	3,56	3,47	0,03	0,33	12180	1263	35,5
				Ferro				
1	71,79	90,82	81,31	0,03	0,11	13005	779	20,7
2	90,82	109,85	100,34	0,10	0,16	12677	1567	41,7
3	109,85	128,88	119,37	0,13	0,24	12821	2234	59,4
4	128,88	147,91	138,40	0,10	0,21	12449	1793	47,7
5	147,91	166,94	157,43	0,10	0,25	12449	1936	51,5
6*	166,94	185,97	176,46	0,16	0,31	12702	2852	75,9
7	185,97	205,00	195,49	0,06	0,40	12597	2024	53,8
8*	205,00	224,03	214,52	0,23	0,41	12327	3759	100,0
9	224,03	243,06	233,55	0,03	0,25	11825	1062	28,3
10	243,06	262,09	252,58	0,03	0,50	12297	1562	41,5
11	262,09	281,12	271,61	0,03	0,20	11871	954	25,4

Continuação...

Classe (i)[1]	Li[2]	Ls[3]	TM[4]	P(Ai/A)[5]	P(Ai/Ni)[6]	PRODi[7]	ChMi[8]	ChMR (%)[9]
	g kg^{-1}					kg ha^{-1}		
				Cobre				
1	4,18	5,59	4,89	0,00	0,00	0	0	0,0
2	5,59	7,00	6,30	0,00	0,00	0	0	0,0
3	7,00	8,41	7,71	0,13	0,25	12427	2232	56,3
4	8,41	9,82	9,12	0,16	0,25	12571	2524	63,7
5	9,82	11,23	10,53	0,10	0,12	12781	1377	34,8
6*	11,23	12,64	11,94	0,29	0,35	12502	3963	100,0
7*	12,64	14,05	13,35	0,16	0,50	12492	3547	89,5
8	14,05	15,46	14,76	0,10	0,43	12215	2488	62,8
9	15,46	16,87	16,17	0,03	0,20	13005	1045	26,4
10	16,87	18,28	17,58	0,03	0,25	12752	1145	28,9
11	18,28	19,69	18,99	0,00	0,00	0	0	0,0
				Manganês				
1	13,30	19,30	16,30	0,13	0,18	12704	1946	54,1
2*	19,30	25,30	22,30	0,32	0,26	12508	3597	100,0
3*	25,30	31,30	28,30	0,16	0,23	12843	2459	68,4
4	31,30	37,30	34,30	0,06	0,18	11875	1286	35,8
5	37,30	43,30	40,30	0,10	0,33	12169	2186	60,8
6	43,30	49,30	46,30	0,03	0,25	11942	1072	29,8
7	49,30	55,30	52,30	0,03	0,50	12586	1598	44,4
8	55,30	61,30	58,30	0,10	0,75	12749	3435	95,5
9	61,30	67,30	64,30	0,00	0,00	0	0	0,0
10	67,30	73,30	70,30	0,06	0,67	12568	2606	72,5
11	73,30	79,30	76,30	0,00	0,00	0	0	0,0
				Zinco				
1	10,45	13,45	11,95	0,00	0,00	0	0	0,0
2	13,45	16,45	14,95	0,03	0,06	12742	539	12,1
3	16,45	19,45	17,95	0,23	0,28	12430	3125	70,2
4	19,45	22,45	20,95	0,10	0,14	12446	1463	32,9
5*	22,45	25,45	23,95	0,23	0,41	12888	3930	88,3
6	25,45	28,45	26,95	0,16	0,38	12391	3086	69,4
7	28,45	31,45	29,95	0,00	0,00	0	0	0,0
8	31,45	34,45	32,95	0,03	0,33	13448	1394	31,3
9	34,45	37,45	35,95	0,03	0,20	12131	974	21,9
10*	37,45	40,45	38,95	0,16	0,83	12137	4450	100,0
11	40,45	43,45	41,95	0,03	0,25	12752	1145	25,7
				Boro				
1	4,00	6,00	5	0,00	0,00	0	0	0,0
2	6,00	8,00	7	0,03	0,20	11942	959	28,0
3	8,00	10,00	9	0,19	0,23	12213	2581	75,5
4*	10,00	12,00	11	0,19	0,25	12478	2745	80,2
5	12,00	14,00	13	0,16	0,24	12864	2521	73,7
6	14,00	16,00	15	0,13	0,27	12738	2363	69,1
7*	16,00	18,00	17	0,16	0,45	12632	3420	100,0
8	18,00	20,00	19	0,03	0,25	11825	1062	31,0
9	20,00	22,00	21	0,03	0,25	13379	1201	35,1
10	22,00	24,00	23	0,03	0,33	12131	1258	36,8
11	24,00	26,00	25	0,03	0,25	12430	1116	32,6

[1]Wadt (1996); [2]Limite inferior da classe "i"; [3]Limite superior da classe "i"; [4]Ponto médio na classe "i". [5]Frequência de talhões de alta produtividade na classe "i" em relação ao total de alta produtividade; [6]Frequência de talhões de alta produtividade na classe "i"em relação ao total de talhões da classe "i"; [7]Produtividade média dos talhões de alta produtividade na classe "i"; [8]Chance matemática na classe "i".

De modo geral, o método da chance matemática proporcionou a redução da amplitude para todas as classes de nutrientes em relação as faixas encontradas na literatura (Malavolta et al. 1997) (Tabela 4). Esse resultado pode ser visto como ponto positivo em razão do maior rigor na interpretação dos resultados dos teores foliares, devido à reduzida faixa para a interpretação. Serra et al. (2010a) obtiveram resultados semelhantes em lavouras comerciais de algodão no município de São Desidério, BA.

Tabela 4. Teores adequados para macronutriente (g kg^{-1}) e micronutriente (mg kg^{-1}), de milho determinados na população de alta produtividade (31 talhões) pelo Método da Chance Matemática (ChM)

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
Faixa de suficiência	37,7-40,9	3,4-3,8	23,7-28,2	4,6-5,7	1,6-2,0	2,7-3,4
Nutriente	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
	mg kg^{-1}					
Faixa de suficiência	166,9-224,0	11,2-14,1	19,3-31,3	22,5-40,5	10,0-18,0	

Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

Para validar as normas foram utilizados 25% do total de talhões para determinar os teores da população de referência, valor adequado segundo Khiari et al. (2001).

As 110 possíveis relações foram determinadas entre os 11 nutrientes (Tabela 5). Destas, 55 relações foram escolhidas para compor as normas, utilizando como critério de seleção a maior razão de variância (S_A^2/S_B^2) (Walworth & Sumner, 1987). Constatou-se que 78% das relações duais escolhidas pelo método da maior variância possuem macronutriente no numerador. Isso se deve ao fato de que na relação onde o macronutriente esteve no numerador, a variância do grupo de baixa produtividade foi maior do que o grupo de alta produtvidade, tornando a razão dos nutrientes mais alta.

Wadt & Dias (2012), concluíram que normas DRIS regionais e inter-regionais apresentam um elevado grau de concordância na avaliação de café canefora. No entanto, a utilização das normas inter-regionais não foi previsível no diagnóstico nutricional local. Para a cultura do milho na região do Alto Paranaíba a utilização de normas gerais resultaria em diagnósticos distintos do real, uma vez que, essa região possui produtividade que chegam até 15.000 kg ha^{-1}.

Tabela 5. Normas para o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (média (m), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV) e razão da variância (S_A^2/S_B^2) entre teores de nutrientes em folhas de milho, na subpopulação de alta produtividade[1]

Relação	m[1]	s[1]	S_A^2/S_B^2	Relação	m[1]	s[1]	S_A^2/S_B^2
N/P	10,630	1,284	1,0596*	S/Fe	0,016	0,006	0,8210*
N/K	0,691	0,105	2,7720*	S/Cu	0,229	0,056	2,0037*
N/Ca	7,296	1,527	1,0976	S/Mn	0,092	0,040	0,9701*
N/Mg	19,717	3,298	1,4880	S/Zn	0,108	0,037	0,9474*
N/S	15,122	2,988	0,7805	S/B	0,207	0,059	2,0366*
N/Fe	0,241	0,085	1,0966*	Fe/N	6,274	3,098	1,0203
N/Cu	3,363	0,677	1,9449*	Fe/P	48,258	13,619	1,0935
N/Mn	1,356	0,551	0,8642	Fe/K	6,675	1,865	1,2163
N/Zn	1,598	0,516	1,1140*	Fe/Ca	32,845	10,376	1,4101
N/B	3,110	0,971	1,9610*	Fe/Mg	89,090	26,227	1,7907
P/N	0,095	0,011	0,8518	Fe/S	69,429	24,555	0,6467
P/K	0,140	0,017	0,9998*	Fe/Cu	15,609	6,180	1,1424*
P/Ca	0,691	0,143	1,1330	Fe/Mn	6,274	3,098	1,0178*
P/Mg	1,869	0,310	1,6854	Fe/Zn	7,045	2,281	1,9905*
P/S	1,426	0,243	0,9471	Fe/B	14,267	6,567	0,9742*
P/Fe	0,023	0,007	1,3110*	Cu/N	0,310	0,066	1,4632
P/Cu	0,319	0,068	1,4038	Cu/P	3,268	0,648	1,4140
P/Mn	0,127	0,049	0,8388*	Cu/K	0,455	0,101	1,2310
P/Zn	0,149	0,041	1,3140*	Cu/Ca	2,271	0,764	0,9730
P/B	0,294	0,090	2,3068*	Cu/Mg	6,117	1,706	0,9630
K/N	1,479	0,224	1,1606	Cu/S	4,659	1,262	1,0497
K/P	7,272	0,954	0,9871	Cu/Fe	0,075	0,033	1,0992
K/Ca	5,014	1,162	1,2464*	Cu/Mn	0,401	0,151	0,8128
K/Mg	13,657	3,285	1,1034	Cu/Zn	0,478	0,135	1,3355
K/S	10,385	2,285	0,8473	Cu/B	0,963	0,360	2,3722*
K/Fe	0,163	0,050	2,0001*	Mn/N	0,896	0,432	0,8808*
K/Cu	2,316	0,582	1,4575*	Mn/P	9,344	4,253	0,7456
K/Mn	0,918	0,356	0,9875*	Mn/K	1,299	0,617	0,8122
K/Zn	1,080	0,303	1,3794*	Mn/Ca	6,473	3,677	0,4953
K/B	2,157	1,000	1,1383*	Mn/Mg	17,897	10,069	0,4606
Ca/N	0,142	0,027	1,3227*	Mn/S	13,434	6,664	0,7367
Ca/P	1,503	0,286	1,3634*	Mn/Fe	0,223	0,162	0,5735
Ca/K	0,210	0,047	1,0563	Mn/Cu	2,845	1,048	1,0661*
Ca/Mg	2,773	0,584	1,0648	Mn/Zn	1,310	0,499	0,7122*
Ca/S	2,153	0,622	0,8181	Mn/B	2,827	1,734	1,1347
Ca/Fe	0,033	0,010	2,2483*	Zn/N	0,700	0,250	0,7827
Ca/Cu	0,479	0,128	1,8731*	Zn/P	7,264	2,170	0,9014
Ca/Mn	0,189	0,074	1,1115*	Zn/K	1,014	0,338	0,7327
Ca/Zn	0,222	0,068	1,5931*	Zn/Ca	4,978	1,709	0,6447
Ca/B	0,445	0,176	1,8386*	Zn/Mg	13,720	5,243	0,5163
Mg/N	0,052	0,009	3,2413*	Zn/S	10,350	3,384	0,8107
Mg/P	0,550	0,097	3,6311*	Zn/Fe	0,161	0,066	1,1229
Mg/K	0,077	0,017	2,4380*	Zn/Cu	2,271	0,680	1,5145*
Mg/Ca	0,375	0,071	2,1964*	Zn/Mn	0,879	0,372	0,7104
Mg/S	0,785	0,200	1,7501*	Zn/B	2,157	1,000	1,1383
Mg/Fe	0,012	0,004	3,9601*	B/N	0,356	0,123	0,9782
Mg/Cu	0,175	0,046	2,9029*	B/P	3,749	1,245	0,9881
Mg/Mn	0,071	0,031	1,3521*	B/K	0,525	0,188	0,8570
Mg/Zn	0,083	0,028	1,9694*	B/Ca	2,595	0,989	0,9683
Mg/B	0,162	0,057	2,9902*	B/Mg	7,020	2,680	1,1226
S/N	0,068	0,012	0,8796*	B/S	5,232	1,580	1,2835
S/P	0,719	0,111	1,5469*	B/Fe	0,084	0,037	0,6610
S/K	0,101	0,020	0,9129*	B/Cu	1,199	0,499	1,6123
S/Ca	0,498	0,127	0,9322*	B/Mn	0,486	0,260	1,3159*
S/Mg	1,342	0,286	1,1412	B/Zn	0,563	0,262	1,3204*

[1]Teores de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}); *Relação selecionada para compor a norma.

Os valores dos coeficientes de determinação da regressão (R^2) entre os índices DRIS e teores dos nutrientes na subpopulação de alta produtividade variaram de 0,43 a 0,83 para o N e S, respectivamente (Tabela 6). Essa grande amplitude de valores pode ser justificada pelas condições de campo retratadas pela pesquisa. Serra et al. (2010b), em lavouras comerciais de algodão, obtiveram coeficientes semelhantes. Este foi menor para N e o maior coeficiente foi obtido para o S, dentre os macronutrientes. Os melhores ajustes para os modelos matemáticos foram obtidos através de modelos lineares ($p< 0,05$) (Tabela 6).

As faixas de teor suficiência (adequada) foram estabelecidas pelo método DRIS através dos dados da população de referência (Tabela 7). Os teores adequados de N, P, K, Ca e S foram superiores aos obtidos por Malavolta et al. (1997) enquanto que os teores de Fe, Cu, Mn, Zn e B foram semelhantes as obtidas por os mesmos autores. Os nutrientes Fe e Mn se encontram com faixas amplas de interpretação se comparado com Malavolta et al. (1997). Conforme exposto por Creste & Echer (2010), isso ocorre em função do elevado desvio padrão do conjunto de dados dos nutrientes supracitados. O aumento na amplitude pode criar problemas na interpretação do diagnóstico nutricional da cultura.

Tabela 6. Modelo matemático para o teor de macronutriente (g kg^{-1}) e micronutriente (mg kg^{-1}) na amostras[1] foliares de milho em função do Índice DRIS

Modelo matemático	Amplitude	R^2
$N= 37,526+1,817^{**}I_N$	$-2,01<I_N<2,16$	0,43
$P= 3,553+0,259^{**}I_P$	$-1,84<I_P<1,37$	0,49
$K= 25,756+3,985^{**}I_K$	$-1,66<I_K<1,66$	0,66
$Ca= 5,306+1,159^{**}I_{Ca}$	$-1,99<I_{Ca}<1,26$	0,82
$Mg= 1,946+1,513^{**}I_{Mg}$	$-0,23<I_{Mg}<0,34$	0,69
$S= 2,481+2,103^{**}I_S$	$-0,47<I_S<0,42$	0,83
$Fe= 171,100+7,423^{**}I_{Fe}$	$-10,76<I_{Fe}<16,20$	0,78
$Cu= 11,611+0,605^{**}I_{Cu}$	$-9,01<I_{Cu}<5,16$	0,60
$Mn= 33,540+6,817^{**}I_{Mn}$	$-4,23<I_{Mn}<3,47$	0,79
$Zn= 25,895+5,365^{**}I_{Zn}$	$-2,45<I_{Zn}<2,63$	0,78
$B= 13,290+0,998^{**}I_B$	$-8,94<I_B<5,16$	0,61

[1]Número de amostras utilizados no modelo matemático=31; Teste t significativo à 1% (**) e à 5% (*).

Tabela 7. Teores adequados para macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}), de milho determinados na população de referência[1] pelo Método Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
	36,3-38,7	3,4-3,7	24,1-27,5	4,8-5,8	1,8-2,1	2,2-2,7
Nutriente	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
	mg kg^{-1}					
	142,5-199,7	10,3-12,9	24,2-42,9	21,0-30,8	11,0-15,6	

[1]Amostras da população de alta produtividade= 31.

Nos 89 talhões da subpopulação de baixa produtividade foi realizada a classificação da maior para a menor limitação nutricional a partir do padrão de referência estabelecido pela população de alta produtividade. Desta forma foram identificados os nutrientes de maior limitação nutricional para a região (Tabela 8).

Valores mais negativos do índice DRIS para o nutriente indicam crescentes níveis de deficiência, enquanto que, índices próximos a zero resulta que a cultura se aproxima do equilíbrio nutricional. Posto que, os valores positivos, apontam teor excessivo à medida que se afasta do valor nulo (Lana et al., 2010). A ordem decrescente de limitação nutricional por deficiência mais frequente é determinada pelo método foi Zn>Fe>Mn=B>N>P>Cu>K>Ca>S>Mg. O índice DRIS para os nutrientes Zn (57,3%), Fe (50,6%) e Mn (44,9%), foram os mais negativos, ou seja, são os nutrientes de maior limitação. Em se tratando da desordem nutricional por excesso, o nutriente que mais limitou foi o Mg (48,3%).

O micronutriente de maior importância para a cultura do milho é o Zn. Sua deficiência reflete diretamente no crescimento da planta, emissão e número de folhas e produção de grãos (Borges et al., 2009). Segundo Malavolta et al. (1997), no solo, a absorção do Zn pode ser afetada pela aplicação de fosfato, devido a complexação P-Zn que insolubiliza o Zn na superfícies das raízes. Na planta, os processos fisiológicos de translocação do íon Zn da superfície da raiz para a folha são prejudicados por altos teores de P. Isso ocorre em função da redução na esterificação de metil em ácidos poligaracturônicos, o que eleva cargas negativas nas raízes, que indisponibilizam Zn para absorção da planta (Youngdahl et al., 1977).

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

Tabela 8. Produtividade, Índice DRIS, Índice de balanço nutricional (IBN) e limitação nutricional de acordo com padrão de referência

Produtividade (kg ha^{-1})	Índice DRIS											IBN	Limitação nutricional (menor>>maior)
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B		
7361	4,82	-3,04	-0,77	1,10	0,42	0,39	3,81	-3,65	-2,29	-0,74	-0,06	21	Cu>P>Mn>K>Zn>B>S>Mg>Ca>Fe>N
7361	1,76	-1,35	-0,10	0,88	0,29	-16,40	-3,73	-3,58	17,09	1,15	4,00	50	S>Fe>Cu>P>K>Mg>Ca>Zn>N>B>Mn
7798	1,77	-2,16	-0,63	0,53	0,18	0,44	1,80	1,26	-1,32	-1,29	-0,57	12	P>Mn>Zn>K>B>Mg>S>Ca>Cu>N>Fe
7800	-0,60	0,67	-0,42	0,09	0,06	0,03	-3,51	1,39	-0,49	-0,18	2,95	10	Fe>N>Mn>K>Zn>S>MgCa>P>Cu>B
7823	0,06	-0,77	-0,58	0,91	0,39	-0,46	-2,35	-1,05	-0,01	1,89	1,96	10	Fe>Cu>P>K>S>Mn>N>Mg>Ca>Zn>B
8254	1,63	-0,13	0,08	1,36	0,77	0,03	2,65	-7,31	-0,09	-0,72	1,72	16	Cu>Zn>P>Mn>S>K>Mg>Ca>N>B>Fe
8350	1,07	-0,54	-0,02	0,31	0,53	-0,26	-3,95	3,52	-0,97	-0,96	1,27	13	Fe>Mn>Zn>P>S>K>Ca>Mg>N>B>Cu
8459	0,43	-0,61	0,35	0,14	0,24	0,10	-5,09	0,45	0,21	2,52	1,27	11	Fe>P>S>Ca>Mn>Mg>K>N>Cu>B>Zn
8471	0,66	0,34	0,50	-0,42	0,31	0,08	6,18	-1,15	-2,31	-3,02	-1,15	16	Zn>Mn>B>Cu>Ca>S>Mg>P>K>N>Fe
8535	-0,14	-0,12	-0,48	0,37	0,27	0,16	-1,44	4,24	1,81	-0,70	-3,96	14	B>Fe>Zn>K>N>P>S>Mg>Ca>Mn>Cu
8550	1,50	-0,48	-0,49	0,99	-0,14	0,02	1,56	-3,68	-1,67	0,14	2,25	13	Cu>Mn>K>P>Mg>S>Zn>Ca>N>Fe>B
8580	1,08	-1,27	-0,04	-0,05	0,81	-0,31	-7,73	3,95	-0,02	0,56	3,01	19	Fe>P>S>Ca>K>Mn>Zn>Mg>N>B>Cu
8580	0,56	-0,79	0,03	-0,19	1,02	-0,15	-1,66	2,72	-2,13	-0,21	0,79	10	Mn>Fe>P>Zn>Ca>S>K>N>B>Mg>Cu
8640	1,48	-0,09	0,31	1,22	0,00	0,05	9,21	-5,70	-2,80	-5,14	1,47	27	Cu>Zn>Mn>P>Mg>S>K>Ca>B>N>Fe
8795	-0,60	0,56	-0,85	1,40	0,74	-0,51	2,32	-0,21	-1,18	-1,54	-0,14	10	Zn>Mn>K>N>S>Cu>B>P>Mg>Ca>Fe
8832	-1,02	0,02	-0,07	0,70	0,54	-0,47	-2,53	2,22	-0,33	1,24	-0,29	9	Fe>N>S>Mn>B>K>P>Mg>Ca>Zn>Cu
8832	-1,57	-0,17	-0,56	0,20	0,49	-0,38	-4,12	3,06	1,75	1,69	-0,40	14	Fe>N>K>B>S>P>Ca>Mg>Zn>Mn>Cu
9000	-0,59	0,28	-0,12	-0,35	-0,03	0,13	-2,63	-0,89	1,66	1,06	1,47	9	Fe>Cu>N>Ca>K>Mg>S>P>Zn>B>Mn
9086	0,93	0,46	0,43	0,56	0,38	-0,15	-0,56	1,64	0,58	0,93	-5,21	12	B>Fe>S>Mg>K>P>Ca>Mn>N>Zn>Cu
9134	-0,23	-0,33	-1,02	1,05	0,59	0,08	-5,13	3,94	1,20	-0,39	0,22	14	Fe>K>Zn>P>N>S>B>Mg>Ca>Mn>Cu
9134	1,54	-0,62	-0,83	1,30	1,07	-0,49	-3,65	1,50	1,50	-0,74	-0,57	14	Fe>K>Zn>P>B>S>Mg>Ca>Cu>Mn>N
9233	1,59	-0,17	-0,23	0,47	0,50	0,00	-8,06	2,65	2,01	0,32	0,94	17	Fe>K>P>S>Zn>Ca>Mg>B>N>Mn>Cu
9348	0,42	-0,91	-0,24	1,12	0,06	0,02	1,19	-0,51	-0,28	0,87	-1,74	7	B>P>Cu>Mn>K>S>Mg>N>Zn>Ca>Fe
9357	-1,02	-0,27	-0,78	0,44	0,05	-0,17	-3,12	2,37	-0,25	1,24	1,52	11	Fe>N>K>P>Mn>S>Mg>Ca>Zn>B>Cu
9480	2,24	0,89	0,72	1,29	0,33	-0,19	2,58	2,71	0,56	0,73	-11,85	24	B>S>Mg>Mn>K>Zn>P>Ca>N>Fe>Cu
9589	1,57	0,25	1,37	-0,15	-0,09	0,06	2,02	-2,80	-0,56	0,24	-1,92	11	Cu>B>Mn>Ca>Mg>S>Zn>P>K>N>Fe
9660	2,11	-0,53	0,54	0,65	0,12	0,04	14,61	4,62	-0,32	-1,03	-20,80	45	B>Zn>P>Mn>S>Mg>K>Ca>N>Cu>Fe
9712	0,77	-0,42	-0,82	1,17	0,04	-0,19	2,82	1,39	0,23	-3,06	-1,94	13	Zn>B>K>P>S>Mg>Mn>N>Ca>Cu>Fe
9729	0,39	0,02	1,16	0,28	0,22	0,09	-1,85	1,41	0,76	0,89	-3,37	10	B>Fe>P>S>Mg>Ca>N>Mn>Zn>K>Cu
9780	-0,23	0,84	0,64	-0,26	0,02	-0,16	-1,04	-4,90	2,35	0,88	1,86	13	Cu>Fe>Ca>N>S>Mg>K>P>Zn>B>Mn

Continuação...

Produtividade (kg ha^{-1})	Índice DRIS											IBN	Limitação nutricional (menor>>maior)
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B		
9814	-0,34	0,40	0,07	-0,08	-0,16	-0,03	6,61	-4,31	-3,20	-1,96	2,98	20	Cu>Mn>Zn>N>Mg>Ca>S>K>P>B>Fe
10080	0,40	-1,41	-0,26	0,34	0,25	-0,27	-7,54	6,76	0,37	0,58	0,80	19	Fe>P>S>K>Mg>Ca>Mn>N>Zn>B>Cu
10099	0,92	0,25	-0,64	0,15	0,37	-0,06	-3,13	0,09	1,55	0,25	0,26	8	Fe>K>S>Cu>Ca>Zn>P>B>Mg>N>Mn
10214	-1,43	0,14	-0,42	0,02	-0,08	0,12	-0,77	-3,01	4,03	1,84	-0,46	12	Cu>N>Fe>B>K>Mg>Ca>S>P>Zn>Mn
10231	-0,32	-0,65	-0,76	0,58	0,20	0,17	-3,27	1,85	0,08	1,28	0,83	10	Fe>K>P>N>Mn>S>Mg>Ca>B>Zn>Cu
10298	0,10	0,56	0,45	0,56	0,24	0,04	11,39	-16,17	-1,65	3,08	1,38	36	Cu>Mn>S>N>Mg>K>P>Ca>B>Zn>Fe
10314	0,42	0,38	1,01	-1,13	-0,18	0,25	7,65	-3,44	-1,79	-2,67	-0,51	19	Cu>Zn>Mn>Ca>B>Mg>S>P>N>K>Fe
10432	0,64	-0,25	-0,56	0,92	0,08	-0,25	-2,29	1,37	0,99	-1,78	1,13	10	Fe>Zn>K>P>S>Mg>N>Ca>Mn>B>Cu
10445	-1,01	1,15	0,97	-0,55	0,23	-0,15	-5,21	1,14	-0,14	2,66	0,91	14	Fe>N>Ca>S>Mn>Mg>B>K>Cu>P>Zn
10498	0,19	-0,38	-0,52	1,22	0,38	-0,22	-4,64	3,31	3,19	0,93	-3,46	18	Fe>B>K>P>S>N>Mg>Zn>Ca>MnCu
10500	2,22	-0,73	-0,29	0,81	0,42	-0,31	-4,51	-0,53	1,64	0,35	0,94	13	Fe>P>Cu>S>K>Zn>Mg>Ca>B>Mn>N
10540	0,33	0,37	0,11	-0,07	0,15	0,03	-1,52	1,76	-2,69	-0,19	1,71	9	Mn>Fe>Zn>Ca>S>K>Mg>N>P>B>Cu
10557	-1,52	0,30	-0,20	0,46	0,29	-0,18	-4,85	2,70	3,77	1,53	-2,30	18	Fe>B>N>K>S>Mg>P>Ca>Zn>Cu>Mn
10560	-0,22	0,19	0,58	-0,38	0,56	-0,22	-8,95	4,24	1,81	1,30	1,08	20	Fe>Ca>S>N>P>Mg>K>B>Zn>Mn>Cu
10608	-0,31	-0,05	0,64	0,11	0,04	-0,06	-7,32	5,09	-0,96	-0,16	2,98	18	Fe>Mn>N>Zn>S>P>Mg>Ca>K>B>Cu
10620	-1,49	0,39	-0,21	-0,27	0,11	0,11	0,94	0,94	3,27	0,81	-4,59	13	B>N>Ca>K>S>Mg>P>Zn>Cu>Fe>Mn
10652	0,66	1,06	1,30	-0,79	0,26	-0,07	-1,53	0,66	0,26	-0,48	-1,33	8	Fe>B>Ca>Zn>S>Mn>Mg>Cu>N>P>K
10671	0,27	-0,43	1,19	-2,09	0,11	-0,01	-0,32	0,21	1,57	-1,18	0,70	8	Ca>Zn>P>Fe>S>Mg>Cu>N>B>K>Mn
10724	1,09	-0,38	-0,18	0,08	0,34	-0,26	-2,03	2,37	-1,02	-2,22	2,21	12	Zn>Fe>Mn>P>S>K>Ca>Mg>N>B>Cu
10726	0,63	0,62	0,79	-0,98	-0,07	0,20	12,68	-2,34	-1,66	-4,75	-5,12	30	B>Zn>Cu>Mn>Ca>Mg>S>P>N>K>Fe
10740	1,31	0,26	1,31	0,32	-0,02	-0,05	-2,33	4,59	-0,49	1,26	-6,15	18	B>Fe>Mn>S>Mg>P>Ca>Zn>N>K>Cu
10748	2,35	-1,37	-0,04	0,28	0,69	-0,06	-6,26	1,82	0,38	0,64	1,57	15	Fe>P>S>K>Ca>Mn>Zn>Mg>B>Cu>N
10763	-0,45	-0,46	0,12	-1,13	-0,16	0,02	2,00	2,90	-2,13	-1,89	1,17	12	Mn>Zn>Ca>P>N>Mg>S>K>B>Fe>Cu
10763	0,36	-0,06	0,92	-1,40	-0,15	0,38	0,01	0,11	-0,20	-0,55	0,58	5	Ca>Zn>Mn>Mg>P>Fe>Cu>N>S>B>K
10786	-0,42	0,95	0,13	-0,45	0,04	0,13	-5,98	2,59	1,66	1,37	-0,02	14	Fe>Ca>N>B>Mg>K>S>P>Zn>Mn>Cu
10800	0,49	0,04	-0,40	0,35	0,06	0,10	-1,36	-0,78	0,46	-1,68	2,71	8	Zn>Fe>Cu>K>P>Mg>S>Ca>Mn>N>B
10800	0,81	0,69	0,19	0,27	-0,09	0,13	2,47	-0,99	-0,37	-3,36	0,26	10	Zn>Cu>Mn>Mg>S>K>B>Ca>P>N>Fe
10812	0,99	0,85	2,53	-1,44	-0,07	0,05	-7,80	-0,19	1,19	0,61	3,29	19	Fe>Ca>Cu>Mg>S>Zn>P>N>Mn>K>B
10860	-1,55	-0,30	-0,56	0,45	-0,03	0,07	-1,33	0,21	0,88	-0,37	2,54	8	N>Fe>K>Zn>P>Mg>S>Cu>Ca>Mn>B
10866	0,91	-0,63	0,74	-1,15	0,21	0,15	1,57	1,02	-0,40	0,30	-2,72	10	B>Ca>P>Mn>S>Mg>Zn>K>N>Cu>Fe

Continuação...

Produtividade (kg ha^{-1})	Índice DRIS											IBN	Limitação nutricional (menor>>maior)
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B		
10873	0,87	0,15	0,66	-0,29	-0,10	0,20	13,90	-6,51	-2,22	-3,26	-3,39	32	Cu>B>Zn>Mn>Ca>Mg>P>S>K>N>Fe
11034	0,33	0,01	0,25	-0,24	-0,10	0,36	-4,78	2,43	0,71	0,84	0,18	10	Fe>Ca>Mg>P>B>K>N>S>Mn>Zn>Cu
11034	0,36	-0,52	-1,16	0,94	0,13	-0,15	2,33	-2,13	0,29	-2,40	2,32	13	Zn>Cu>K>P>S>Mg>Mn>N>Ca>B>Fe
11041	0,82	-0,48	1,36	-1,31	0,40	0,12	-3,07	1,24	-0,56	-0,34	1,81	12	Fe>Ca>Mn>P>Zn>S>Mg>N>Cu>K>B
11073	-0,67	-0,50	1,52	-2,49	-0,01	0,21	-9,43	7,69	0,76	0,17	2,74	26	Fe>Ca>N>P>Mg>Zn>S>Mn>K>B>Cu
11109	2,08	-0,91	-0,39	0,15	0,42	-0,10	-5,89	2,15	-0,01	-1,42	3,92	17	Fe>Zn>P>K>S>Mn>Ca>Mg>N>Cu>B
11210	0,13	0,10	-0,54	1,02	0,13	0,14	-5,43	1,88	2,05	-0,67	1,19	13	Fe>Zn>K>P>Mg>N>S>Ca>B>Cu>Mn
11235	-0,47	-0,53	-0,83	0,79	-0,18	0,07	3,52	-0,37	2,17	0,16	-4,33	13	B>K>P>N>Cu>Mg>S>Zn>Ca>Mn>Fe
11322	-0,29	0,69	-0,13	0,43	-0,25	0,33	12,55	-7,92	-7,49	-0,56	2,65	33	Cu>Mn>Zn>N>Mg>K>S>Ca>P>B>Fe
11323	-0,28	1,00	1,40	-1,97	-0,06	0,24	3,18	-1,81	-2,65	-2,29	3,24	18	Mn>Zn>Ca>Cu>N>Mg>S>P>K>Fe>B
11340	0,17	0,70	-0,01	0,09	-0,04	0,16	0,74	-2,49	-2,28	-3,09	6,06	16	Zn>Cu>Mn>Mg>K>Ca>S>N>P>Fe>B
11343	-0,29	-0,51	-0,68	0,41	-0,20	0,03	-2,19	3,08	-0,38	-1,47	2,21	11	Fe>Zn>K>P>Mn>N>Mg>S>Ca>B>Cu
11343	0,30	-0,01	-0,51	0,16	-0,02	-0,03	-3,62	2,09	-0,92	-0,76	3,31	12	Fe>Mn>Zn>K>S>Mg>P>Ca>N>Cu>B
11358	-0,95	-0,74	-0,41	0,31	0,04	-0,04	-8,99	6,49	0,69	1,65	1,96	22	Fe>N>P>K>S>Mg>Ca>Mn>Zn>B>Cu
11390	0,53	0,63	0,98	0,38	-0,10	0,50	9,68	-9,52	-4,56	-3,26	4,73	35	Cu>Mn>Zn>Mg>Ca>S>N>P>K>B>Fe
11400	1,07	-0,25	-0,17	-0,06	0,12	-0,11	-3,93	1,80	0,34	-1,36	2,56	12	Fe>Zn>P>K>S>Ca>Mg>Mn>N>Cu>B
11400	-0,96	1,12	0,90	-0,57	-0,05	-0,16	-5,60	1,63	-0,43	-0,73	4,85	17	Fe>N>Zn>Ca>Mn>S>Mg>K>P>Cu>B
11476	1,63	-0,53	0,98	0,23	0,26	-0,17	-4,98	0,76	-0,56	1,55	0,83	12	Fe>Mn>P>S>Ca>Mg>Cu>B>K>Zn>N
11520	-1,81	0,27	-0,95	0,21	-0,04	-0,08	-7,48	4,06	1,07	0,70	4,04	21	Fe>N>K>S>Mg>Ca>P>Zn>Mn>B>Cu
11546	0,20	0,99	0,31	-0,01	0,04	0,08	-0,43	0,45	0,41	-0,55	-1,49	5	B>Zn>Fe>Ca>Mg>S>N>K>Mn>Cu>P
11548	-0,07	0,29	-0,06	-0,54	0,06	0,06	2,31	-0,80	-1,32	-1,28	1,36	8	Mn>Zn>Cu>Ca>N>K>S>Mg>P>B>Fe
11615	-0,09	-0,33	-0,32	0,72	0,15	0,10	1,15	-1,57	-2,96	2,81	0,33	11	Mn>Cu>P>K>N>S>Mg>B>Ca>Fe>Zn
11622	0,27	0,24	0,37	-0,52	-0,01	0,13	12,85	-2,04	-4,02	-5,66	-1,61	28	Zn>Mn>Cu>B>Ca>Mg>S>P>N>K>Fe
11661	-0,84	1,01	0,95	-0,13	-0,09	0,06	11,89	-5,77	0,90	0,26	-8,24	30	B>Cu>N>Ca>Mg>S>Zn>Mn>K>P>Fe
11709	1,84	-0,75	-0,32	0,29	0,31	0,13	4,40	-1,45	-0,84	-3,18	-0,42	14	Zn>Cu>Mn>P>B>K>S>Ca>Mg>N>Fe
11716	-1,16	0,78	0,51	-0,60	-0,10	-0,11	-1,67	-2,48	2,28	-0,36	2,91	13	Cu>Fe>N>Ca>Zn>S>Mg>K>P>Mn>B
11736	-1,23	0,59	0,65	0,86	0,01	-0,23	-8,84	1,23	4,63	3,10	-0,76	22	Fe>N>B>S>Mg>P>K>Ca>Cu>Zn>Mn
11743	0,00	0,03	-0,88	0,61	0,23	-0,25	4,21	-2,32	-1,47	-4,24	4,08	18	Zn>Cu>Mn>K>S>N>P>Mg>Ca>B>Fe
11764	0,39	-0,11	-0,54	0,26	0,30	0,09	3,87	-0,41	-1,11	-0,81	-1,94	10	B>Mn>Zn>K>Cu>P>S>Ca>Mg>N>Fe

Para integrar à recomendação de adubação foi aplicado o método do Potencial de Resposta a Adubação (PRA) aos talhões em função dos valores dos índices DRIS (Tabela 9). Os valores gerados indicaram a probabilidade das lavouras diagnosticadas responderem à adubação para determinado nutriente influenciando a produtividade. A ordem de frequência dos talhões com potencial de resposta alto e muito alto a adubação foi Fe>Zn>Cu>Mn=B>Ca>N>P>S>K>N>Mg. De modo geral, 53,9 e 30,3% das lavouras de milho possuem grande potencial para responder positivamente a adubação para Fe e Zn, respectivamente. Chen & Barak (1982) destacaram a grande importância do nutriente Fe, que apesar de abundante em teores totais, apresentaram-se em deficiência no solo em cerca de 30% de toda a área cultivada no mundo.

Lana et al. (2010) em estudo com a cultura do café no Alto Paranaíba, concluíram que os nutrientes de maior probabilidade de resposta à adubação foram o P e o Fe. Para o micronutriente, este trabalho encontrou probabilidade semelhante de resposta. No entanto, para o P não se detectou probabilidade de resposta uma vez que a maior parte das lavouras de milho foram cultivadas em solos de fertilidade corrigida em sucessão à hortaliças. De maneira geral, em solos cultivados com hortaliças, altas doses de P são aplicadas devido à exigência nutricional.

Tabela 9. Porcentagem dos talhões de baixa produtividade em cada classe de potencial de resposta à adubação (PRA)[1] na região do Alto Paranaíba, MG

Nutriente	PRA (%)				
	Muito Alto	Alto	Nula	Baixa	Muito baixo
N	1,1	5,6	76,5	16,8	0
P	1,1	2,3	94,4	1,1	1,1
K	0	1,1	91,1	5,6	2,2
Ca	2,2	5,6	87,7	4,5	0
Mg	0	0	98,8	1,2	0
S	1,2	0,0	98,8	0	0
Fe	43,8	10,1	10,1	6,8	29,2
Cu	15,7	13,5	22,5	16,8	31,5
Mn	6,7	14,6	53,9	15,8	9,0
Zn	12,3	18,0	53,9	12,4	3,4
B	14,6	6,7	37,1	25,9	15,7

[1]Potencial de resposta a adubação (Wadt, 1996); [2]Talhões do grupo de baixa-produtividade=89.

Diagnose da Composição Nutricional (CND)

As normas (médias e desvio padrão) para a população de referência foi obtida dos 31 talhões da subpopulação de alta produtividade encontram-se na (Tabela 10).

O relacionamento entre os teores de nutrientes e os índices CND gerados para a subpopulação de alta produtividade permitiram o ajuste de modelos significativos ($p< 0,01$) (Tabela 11). O coeficiente de determinação dos modelos variou de 0,19 a 0,85. A alta amplitude de valor tem a mesma justificativa conforme especificado para o método do DRIS (Tabela 6).

A amplitude das faixas de teores para o método em questão foi menor que a encontrada na literatura para a cultura do milho de acordo com Malavolta et al. (1997). Por fim, constatou-se que a atualização dos valores poderá conferir interpretação mais precisa, uma vez que reduziu a probabilidade de talhões de baixa produtividade apresentarem teores na faixa normal, conclusão semelhantes aos trabalhos de Urano et al. (2007) e Serra et al. (2010a).

Tabela 10. Média e desvio padrão (s) das variáveis, multinutrientes pelo método CND, na subpopulação de alta produtividade[1] de milho na região do Alto Paranaíba, MG

Variável	Média	s
V_N	3,590	0,120
V_P	1,238	0,076
V_K	3,214	0,127
V_{Ca}	1,627	0,172
V_{Mg}	0,626	0,171
V_S	0,896	0,166
V_{Fe}	-1,835	0,286
V_{Cu}	-4,506	0,181
V_{Mn}	-3,526	0,393
V_{Zn}	-3,728	0,250
V_B	-4,399	0,307
G^2	0,103	0,008

[1]Número de amostras utilizados no modelo matemático= 31;[2]diferença entre 100% e o somatório de nutrientes identificados na amostra foliar, sendo uma estimativa da matéria seca da amostra.

Ndabamenye et al. (2013), em estudo na África centro-oriental, determinaram a influência da densidade de plantio em relação aos teores foliares em três regiões para a cultura da banana. Observaram que ocorreu diferença de rendimento entre os locais, e constataram desequilíbrios nutricionais diferentes em função das condições edafoclimáticas de cada área, após aplicação do método do

CND. Concluíram que é de grande importância gerar normas específicas por região.

Tabela 11. Modelos matemáticos ajustados para o teor de macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) nas amostras[1] foliares de milho em função do Índice CND

Modelo matemático	Amplitude	R^2
$N= 37,526 + 2,165^{**}I_N$	$-1,96<I_N<2,37$	0,61
$P= 3,5537 + 0,110^{*}I_P$	$-1,63<I_P<2,44$	0,19
$K= 25,756 +2,504^{**}I_K$	$-2,64<I_K<2,31$	0,64
$C = 5,306 + 0,778^{**}I_{Ca}$	$-2,78<I_{Ca}<1,78$	0,76
$Mg= 1,946 + 0,263^{**}I_{Mg}$	$-2,13<I_{Mg}<1,81$	0,77
$S= 2,556 + 0,392^{**}I_S$	$-2,40<I_S< 2,19$	0,80
$Fe= 171,100 + 46,174^{**}I_{Fe}$	$-2,26<I_{Fe}<1,75$	0,90
$Cu= 11,611 + 2,302^{**}I_{Cu}$	$-1,89<I_{Cu}<1,96$	0,85
$Mn= 33,296 + 15,247^{**}I_{Mn}$	$-1,69<I_{Mn}<2,06$	0,93
$Zn= 25,895 + 8,017^{**}I^{Zn}$	$-1,54<I_{Zn}<1,77$	0,95
$B= 13,290 + 4,152^{**}I_B$	$-1,91<I_B<2,26$	0,89

[1]Número de amostras utilizados no modelo matemático= 31; teste t significativo à 1% (**) e à 5% (*).

Tabela 12. Faixa de suficiência para macronutrientes (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}), na folha índice de milho determinados no grupo de alta produtividade[1] pelo Método Diagnose da Composição Nutricional (CND)

Variável	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg^{-1}					
Faixa de suficiência	36,1-39,0	3,5-3,6	24,1-27,4	4,8-5,8	1,8-2,1	2,3-2,8
Variável	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
	mg kg^{-1}					
Faixa de suficiência	140,3-201,9	10,0-13,1	23,1-43,5	20,5-31,2	10,5-16,1	

[1]Amostras da população de alta produtividade= 31.

A ordem decrescente média de limitação nutricional por deficiência pelo método CND foi: P=Zn>Fe>B>N>Mn>K=Cu>S>Ca>Mg (Tabela 13). O índice CND para os nutrientes P (49,4%), Zn (49,4%) e Fe (48,3%), foram os mais frequentemente negativos, ou seja, são os nutrientes de maior limitação por deficiência. O Mg foi o nutriente de maior limitação por excesso, com níveis considerados excessivos em 48,3% dos talhões.

O indicativo de deficiência para o nutriente fósforo foi em função da amplitude estreita nos teores de P em toda a população de referência (Tabela 12). A população de referência é responsável pelos valores desta faixa. Para o teor foliar de Fe, a alta frequência de talhões deficientes, está em função principalmente do elevado pH, que o segundo nutriente limitante poderá vir a ser o Zn (Huang et al.,

2012). Mengel (1994) afirma que a deficiência de Fe na planta é intensificada por solos com pH elevado por causar restrição no deslocamento de íons (Fe^{+2}) via apoplástica e simplástica da raiz para a folha.

Na Tabela 13 é apresentado o índice CND e a crescente ordem de limitação nutricional para os 89 talhões de baixa produtividade de acordo com o padrão de referência gerado pelo CND.

Tabela 13. Produtividade, Índice CND e limitação nutricional de acordo com padrão de referência

Produtividade	Índice CND											Limitação nutricional (menor>>maior)
(kg ha^{-1})	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
7361	1,98	-3,09	-0,55	1,29	2,38	1,92	0,07	-1,91	-1,41	-0,83	-0,23	P>Cu>Mn>Zn>K>B>Fe>Ca>S>N>Mg
7361	0,24	-2,67	-0,17	1,13	1,90	1,85	-1,23	-2,84	-0,69	-0,27	0,96	Cu>P>Fe>Mn>Zn>K>N>B>Ca>S>Mg
7798	0,57	-2,86	-1,05	0,32	1,28	1,83	0,27	0,18	-0,79	-0,94	-0,35	P>K>Zn>Mn>B>Cu>Fe>Ca>N>Mg>S
7800	-0,15	1,17	-0,29	0,15	0,84	0,51	-0,56	-0,13	-0,66	-0,64	0,67	Mn>Zn>Fe>K>N>Cu>Ca>S>B>Mg>P
7823	-0,76	-2,35	-0,86	1,06	1,98	-0,14	-0,40	-1,19	-0,58	0,90	0,38	P>Cu>K>N>Mn>Fe>S>B>Zn>Ca>Mg
8254	0,08	-0,64	-0,06	1,96	3,67	0,85	-0,47	-3,61	-0,79	-1,33	0,02	Cu>Zn>Mn>P>Fe>K>B>N>S>Ca>Mg
8350	1,11	0,56	0,78	0,88	2,77	-0,42	-0,99	0,78	-1,03	-1,31	-0,31	Zn>Mn>Fe>S>B>P>Cu>K>Ca>N>Mg
8459	-0,26	-1,65	0,29	0,22	1,47	0,55	-1,17	-0,87	-0,44	1,27	-0,26	P>Fe>Cu>Mn>B>N>Ca>K>S>Zn>Mg
8471	0,53	0,96	0,68	-0,38	1,90	0,68	0,75	-0,33	-1,03	-1,59	-0,31	Zn>Mn>Ca>Cu>B>N>K>S>Fe>P>Mg
8535	-0,69	-0,14	-0,72	0,30	1,78	0,97	-0,56	1,43	0,90	-0,96	-1,86	B>Zn>K>N>Fe>P>Ca>Mn>S>Cu>Mg
8550	1,41	0,05	-0,45	1,45	-0,75	-0,12	0,23	-1,63	-0,99	-0,09	0,85	Cu>Mn>Mg>K>S>Zn>P>Fe>B>N>Ca
8580	0,89	-0,96	0,45	0,16	3,66	-0,40	-1,84	0,55	-0,72	-0,53	0,18	Fe>P>Mn>Zn>S>Ca>B>K>Cu>N>Mg
8580	0,17	-0,86	-0,07	-0,25	4,39	0,43	-0,50	0,43	-1,44	-0,68	-0,28	Mn>P>Zn>Fe>B>Ca>K>N>S>Cu>Mg
8640	0,74	0,20	1,22	2,21	0,20	0,19	0,88	-1,88	-1,21	-2,44	0,65	Zn>Cu>Mn>S>P>Mg>B>N>Fe>K>Ca
8795	-0,96	0,51	-0,57	2,20	3,24	-1,41	0,15	-0,53	-0,82	-1,26	-0,36	S>Zn>N>Mn>K>Cu>B>Fe>P>Ca>Mg
8832	-1,61	-1,00	0,85	1,37	2,28	-1,78	-0,39	0,40	-0,43	0,62	-0,59	S>N>P>B>Mn>Fe>Cu>Zn>K>Ca>Mg
8832	-1,93	-1,65	-1,36	-0,27	1,93	-1,64	-0,33	1,06	0,90	1,27	-0,51	N>P>S>K>B>Fe>Ca>Mn>Cu>Zn>Mg
9000	-0,58	-0,47	-0,46	-0,81	-0,04	0,39	-0,16	-0,65	0,68	0,56	0,28	Ca>Cu>N>P>K>Fe>Mg>B>S>Zn>Mn
9086	0,44	1,38	0,38	1,01	2,08	-0,27	-0,68	0,04	-0,04	0,25	-2,11	B>Fe>S>Mn>Cu>Zn>K>N>Ca>P>Mg
9134	-0,75	-0,46	-1,06	1,51	3,42	1,30	-1,37	0,66	0,14	-1,24	-1,01	Fe>Zn>K>B>N>P>Mn>Cu>S>Ca>Mg
9134	0,83	0,00	-0,88	1,93	4,40	-0,80	-1,25	-0,46	0,27	-1,40	-1,17	Zn>Fe>B>K>S>Cu>P>Mn>N>Ca>Mg
9233	1,31	1,10	-0,03	0,88	2,99	0,84	-2,45	-0,29	0,44	-1,02	-1,08	Fe>B>Zn>Cu>K>Mn>S>Ca>P>N>Mg
9348	-0,48	-2,03	0,22	1,71	0,40	-0,04	0,21	-0,43	-0,26	0,55	-0,69	P>B>N>Cu>Mn>S>Fe>K>Mg>Zn>Ca
9357	-0,95	-1,06	-0,88	0,38	0,15	-1,03	0,04	0,87	-0,18	0,95	0,47	P>S>N>K>Mn>Fe>Mg>Ca>B>Cu>Zn
9480	1,21	3,09	0,25	2,04	1,69	-0,62	-0,70	0,56	0,00	0,18	-3,34	B>Fe>S>Mn>Zn>K>Cu>N>Mg>Ca>P
9589	1,27	1,21	2,30	0,63	-0,37	0,17	0,01	-1,26	-0,50	-0,01	-0,84	Cu>B>Mn>Mg>Zn>Fe>S>Ca>P>N>K
9660	0,62	0,45	-0,63	0,48	0,35	-0,27	1,11	2,47	0,25	-0,01	-3,49	B>K>S>Zn>Mn>Mg>P>Ca>N>Fe>Cu
9712	0,60	0,24	-0,13	1,90	0,28	-0,95	0,47	0,69	0,16	-1,72	-0,68	Zn>S>B>K>Mn>P>Mg>Fe>N>Cu>Ca
9729	-0,76	-0,61	2,30	1,13	1,42	0,57	-0,91	-0,26	-0,01	0,09	-1,87	B>Fe>N>P>Cu>Mn>Zn>S>Ca>Mg>K
9780	-0,32	0,48	1,18	-0,02	-0,13	-1,12	-0,16	-2,05	0,84	0,27	0,42	Cu>S>N>Fe>Mg>Ca>Zn>B>P>Mn>K

Continuação...

Produtividade (kg ha^{-1})	Índice CND											Limitação nutricional (menor>>maior)
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
9814	-0,18	0,04	0,55	-0,02	-1,14	-0,63	1,38	-0,92	-1,01	-0,58	1,75	Zn>N>Ca>P>K>Fe>B>Zn>N>Ca>P
10080	0,43	-0,72	0,75	0,84	1,29	-1,11	-1,56	2,61	-0,21	-0,19	-0,65	Mn>Zn>N>K>Ca>Mg>Cu>Mn>Zn>N>K
10099	1,13	1,28	-1,70	-0,31	2,13	0,16	-0,74	-0,67	0,42	-0,41	-0,53	Zn>Ca>S>Mn>N>P>Mg>Zn>Ca>S>Mn
10214	-1,77	-2,09	-1,79	-0,93	-0,80	-0,10	0,33	-0,81	2,02	1,47	-0,16	Cu>Mg>B>S>Fe>Zn>Mn>Cu>Mg>B>S
10231	-0,66	-1,52	-1,24	0,53	1,53	1,06	-0,39	0,20	-0,24	0,64	-0,10	Mn>B>Cu>Ca>Zn>S>Mg>Mn>B>Cu>Ca
10298	-1,23	-1,36	-0,36	0,45	1,07	-0,10	1,17	-4,15	-0,76	1,67	1,04	K>S>Ca>B>Mg>Fe>Zn>K>S>Ca>B
10314	0,61	0,83	1,27	-1,20	-1,04	0,78	1,35	-0,53	-0,51	-0,93	0,34	Mn>B>N>S>P>K>Fe>Mn>B>N>S
10432	0,68	0,40	0,49	1,73	0,46	-1,19	-0,40	0,15	0,29	-1,51	-0,09	Cu>Mn>P>Mg>K>N>Ca>Cu>Mn>P>Mg
10445	-0,79	1,43	1,20	-0,31	1,38	-0,42	-1,10	-0,33	-0,53	1,55	-0,37	B>Cu>Ca>K>Mg>P>Zn>B>Cu>Ca>K
10498	-0,41	-0,56	-0,89	1,63	1,85	-0,74	-1,37	0,75	1,66	0,05	-2,07	P>N>Zn>Cu>Ca>Mn>Mg>P>N>Zn>Cu
10500	1,74	0,15	-0,05	1,31	2,08	-1,04	-1,23	-1,19	0,32	-0,51	-0,47	B>K>P>Mn>Ca>N>Mg>B>K>P>Mn
10540	1,07	1,86	0,38	0,17	1,37	0,60	-0,34	0,28	-1,58	-0,52	0,24	B>Cu>K>S>N>Mg>P>B>Cu>K>S
10557	-1,97	-0,93	-0,66	0,38	1,33	-0,83	-1,10	0,69	2,00	0,73	-1,64	S>K>Ca>Cu>Zn>Mg>Mn>S>K>Ca>Cu
10560	-0,31	0,50	1,44	0,09	2,88	-0,25	-2,43	0,72	0,49	0,01	-1,01	Zn>Ca>Mn>P>Cu>K>Mg>Zn>Ca>Mn>P
10608	-0,04	0,77	2,72	1,34	0,77	0,10	-1,71	1,49	-1,13	-0,96	0,12	S>B>P>Mg>Ca>Cu>K>S>B>P>Mg
10620	-1,65	-0,75	-1,89	-1,36	0,47	0,14	0,42	0,76	1,95	0,83	-1,38	P>S>Fe>Mg>Cu>Zn>Mn>P>S>Fe>Mg
10652	0,80	2,67	2,00	-0,29	1,67	0,05	-0,68	-0,34	-0,26	-0,82	-1,12	Ca>Mn>S>N>Mg>K>P>Ca>Mn>S>N
10671	0,34	-0,87	0,72	-2,83	0,04	-0,75	0,50	0,39	0,97	-0,54	0,30	Mg>B>N>Cu>Fe>K>Mn>Mg>B>N>Cu
10724	1,46	0,93	0,32	0,32	1,81	-0,82	-0,35	0,60	-0,83	-1,72	0,42	Ca>K>B>Cu>P>N>Mg>Ca>K>B>Cu
10726	0,64	1,53	0,85	-1,21	-0,32	0,62	1,69	0,15	-0,30	-1,66	-0,76	Mn>Cu>S>N>K>P>Fe>Mn>Cu>S>N
10740	0,97	1,96	2,10	1,23	0,04	-0,30	-1,08	1,50	-0,63	0,58	-2,43	Mg>Zn>N>Ca>Cu>P>K>Mg>Zn>N>Ca
10748	1,62	-0,78	-0,01	0,47	3,45	0,53	-1,75	-0,59	-0,56	-0,52	-0,46	Zn>B>K>Ca>S>N>Mg>Zn>B>K>Ca
10763	0,16	-0,21	-0,11	-1,94	-1,35	-0,62	1,20	2,01	-0,59	-0,51	0,91	Zn>P>K>N>B>Fe>Cu>Zn>P>K>N
10763	0,46	0,00	0,83	-1,77	-0,79	1,35	0,27	0,00	-0,16	-0,34	0,11	Cu>P>B>Fe>N>K>S>Cu>P>B>Fe
10786	0,11	2,01	-0,38	-0,79	0,65	0,73	-1,34	0,34	0,53	0,42	-0,90	N>Cu>Zn>Mn>Mg>S>P>N>Cu>Zn>Mn
10800	0,45	0,26	-0,11	0,56	0,76	0,68	-0,26	-0,89	-0,11	-1,46	0,67	Mn>P>N>Ca>B>S>Mg>Mn>P>N>Ca
10800	0,95	2,11	1,02	0,88	-0,05	0,78	0,18	-0,58	-0,37	-2,07	-0,16	Mg>Fe>S>Ca>N>K>P>Mg>Fe>S>Ca
10812	1,31	2,42	3,70	-0,34	-0,13	0,25	-2,14	-1,35	-0,09	-0,54	0,19	Mg>Mn>B>S>N>P>K>Mg>Mn>B>S
10860	-2,45	-2,71	0,48	0,74	-0,15	0,08	0,35	-0,03	0,42	-0,21	0,95	Cu>S>Fe>Mn>K>Ca>B>Cu>S>Fe>Mn
10866	0,64	-0,68	-0,06	-1,88	1,04	0,41	0,41	0,48	-0,18	0,36	-0,83	K>Zn>S>Fe>Cu>N>Mg>K>Zn>S>Fe

Continuação...

Produtividade (kg ha^{-1})	Índice CND											Limitação nutricional (menor>>maior)
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
10873	0,47	0,15	1,07	-0,14	-0,48	0,64	1,83	-1,12	-0,51	-0,94	-0,22	Cu>Zn>Mn>Mg>B>Ca>P>N>S>K>Fe
11034	0,34	0,42	0,46	-0,17	-0,07	1,68	-1,06	0,25	-0,05	0,03	-0,72	Fe>B>Ca>Mg>Mn>Zn>Cu>N>P>K>S
11034	0,13	-1,05	-1,37	1,07	0,65	-0,80	0,69	-0,73	0,13	-1,29	1,03	K>Zn>P>S>Cu>Mn>N>Mg>Fe>B>Ca
11041	0,42	-0,67	1,78	-1,15	2,19	0,77	-0,68	-0,25	-0,71	-0,75	0,05	Ca>Zn>Mn>Fe>P>Cu>B>N>S>K>Mg
11073	0,00	0,61	1,84	-2,54	0,10	0,74	-1,93	3,42	0,07	-0,63	0,04	Ca>Fe>Zn>N>B>Mn>Mg>P>S>K>Cu
11109	2,16	0,52	-0,37	0,20	2,45	0,18	-1,41	-0,19	-0,68	-1,78	0,84	Zn>Fe>Mn>K>Cu>S>Ca>P>B>N>Mg
11210	-0,21	0,30	0,29	1,84	1,41	1,14	-1,48	-0,31	0,63	-1,46	-0,68	Fe>Zn>B>Cu>N>K>P>Mn>S>Mg>Ca
11235	-0,77	-1,60	-1,71	0,56	-1,33	-0,23	1,01	0,53	1,44	0,66	-0,91	K>P>Mg>B>N>S>Cu>Ca>Zn>Fe>Mn
11322	-0,09	0,66	-0,34	0,53	-1,36	1,32	1,71	-1,77	-2,07	0,16	1,77	Mn>Cu>Mg>K>N>Zn>Ca>P>S>Fe>B
11323	0,55	2,05	1,07	-2,35	-0,22	0,81	0,82	-0,42	-1,05	-1,07	1,53	Ca>Zn>Mn>Cu>Mg>N>S>Fe>K>B>P
11340	0,53	1,38	0,13	0,23	0,19	0,84	0,05	-1,51	-1,27	-1,97	2,69	Zn>Cu>Mn>Fe>K>Mg>Ca>N>S>P>B
11343	0,32	-0,75	0,01	0,66	-1,24	-0,12	0,12	1,29	-0,23	-0,96	0,71	Mg>Zn>P>Mn>S>K>Fe>N>Ca>B>Cu
11343	1,34	0,62	-0,28	0,21	0,10	-0,13	-0,45	0,41	-0,79	-0,85	0,99	Zn>Mn>Fe>K>S>Mg>Ca>Cu>P>B>N
11358	-0,79	-0,79	0,07	0,63	0,56	-0,05	-1,85	2,33	-0,06	0,71	-0,24	Fe>N>P>B>Mn>S>K>Mg>Ca>Zn>Cu
11390	-0,04	0,50	1,28	0,97	-0,06	2,23	0,88	-3,09	-1,76	-1,69	2,19	Cu>Mn>Zn>Mg>N>P>Fe>Ca>K>B>S
11400	1,49	0,94	0,23	0,01	0,80	-0,45	-0,70	0,16	-0,19	-1,38	0,45	Zn>Fe>S>Mn>Ca>Cu>K>B>Mg>P>N
11400	-0,36	1,88	2,51	0,27	-0,16	-0,84	-0,99	-0,11	-0,66	-1,07	1,53	Zn>Fe>S>Mn>N>Mg>Cu>Ca>B>P>K
11476	1,39	0,23	1,84	1,01	1,50	-0,47	-1,38	-0,73	-0,91	0,41	-0,54	Fe>Mn>Cu>B>S>P>Zn>Ca>N>Mg>K
11520	-1,44	-0,17	-0,56	0,24	0,05	-0,28	-0,99	1,24	0,32	0,06	1,19	N>Fe>K>S>P>Mg>Zn>Ca>Mn>B>Cu
11546	0,51	2,38	0,66	0,32	0,70	0,65	-0,32	-0,25	-0,08	-0,73	-0,97	B>Zn>Fe>Cu>Mn>Ca>N>S>K>Mg>P
11548	0,26	0,55	-0,19	-0,95	0,52	0,22	0,73	-0,12	-0,56	-0,59	0,67	Ca>Zn>Mn>K>Cu>S>N>Mg>P>B>Fe
11615	-0,54	-1,31	-1,04	0,77	1,18	0,64	0,28	-0,80	-1,37	1,85	0,16	Mn>P>K>Cu>N>B>Fe>S>Ca>Mg>Zn
11622	0,50	0,83	0,50	-0,71	0,05	0,42	1,88	0,36	-1,07	-1,89	0,28	Zn>Mn>Ca>Mg>B>Cu>S>N>K>P>Fe
11661	-1,51	-0,06	0,77	-0,13	-0,80	-0,27	1,54	-1,02	0,70	0,83	-1,48	N>B>Cu>Mg>S>Ca>P>Mn>K>Zn>Fe
11709	1,20	-0,36	-0,29	0,28	1,88	0,82	0,52	-0,63	-0,51	-1,80	-0,18	Zn>Cu>Mn>P>K>B>Ca>Fe>S>N>Mg
11716	-1,01	-0,06	1,26	-0,52	-0,96	-1,13	0,12	-0,99	1,04	-0,33	1,04	S>N>Cu>Mg>Ca>Zn>P>Fe>B>Mn>K
11736	-1,42	-0,17	0,73	1,57	-0,22	-1,50	-2,48	-0,26	2,24	1,97	-1,58	Fe>B>S>N>Cu>Mg>P>K>Ca>Zn>Mn
11743	-0,08	-0,27	-0,74	0,75	1,12	-1,17	0,95	-0,67	-0,58	-1,98	1,97	Zn>S>K>Cu>Mn>P>N>Ca>Fe>Mg>B
11764	0,04	-0,21	-1,03	0,03	1,87	0,70	0,61	-0,16	-0,56	-0,45	-0,58	K>B>Mn>Zn>P>Cu>Ca>N>Fe>S>Mg

Para integrar os resultados de interpretação ao método CND à recomendação de adubação foi aplicado o método do Potencial de Resposta a Adubação aos talhões (Tabela 14). Os valores obtidos indicaram a probabilidade das lavouras diagnosticadas responderem em produtividade à adubação para determinado nutriente. A ordem de resposta (altamente positiva para negativa) à adubação foi Zn>Fe>Cu=P>B>Mn>N>Ca>S>K>Mg. De modo geral, 34,8 e 29,2% das lavouras de milho possuem grande potencial para responder positivamente a adubação para Zn e Fe, respectivamente.

Tabela 14. Porcentagem de talhões com potencial de resposta à adubação (PRA) para macro e micronutrientes no grupo de baixa produtividade[2] na região do Alto Paranaíba, MG

Nutriente	PRA (%)				
	Muito Alto	Alto	Nula	Baixa	Muito baixo
N	4,5	11,2	62,9	19,1	2,2
P	10,1	13,5	50,6	16,9	9,0
K	5,6	6,7	66,3	11,2	10,1
Ca	11,2	3,4	58,4	19,1	7,9
Mg	2,2	7,9	38,2	18,0	33,7
S	3,4	10,1	70,8	11,2	4,5
Fe	18,0	11,2	56,2	7,9	6,7
Cu	9,0	14,6	64,0	4,5	7,9
Mn	5,6	12,4	70,8	3,4	7,9
Zn	20,2	14,6	53,9	6,7	4,5
B	10,1	12,4	57,3	14,6	5,6

[1]Grupo de baixa produtividade= 89 talhões.

Comparações entre os métodos ChM, DRIS e CND

Os métodos DRIS e CND possuem amplitude dos intervalos nutricionais semelhante, bem como a concentração dos limites dos intervalos (Tabelas 7 e 12). As faixas normais do método ChM, foram distintas em relação as faixas DRIS e CND propostas especialmente para Cu e S, semelhante ao observado por Serra et al. (2010a) e Camacho et al. (2012).

O método da Chance Matemática indicou em aproximadamente 72% das faixas ótimas geradas, aumento na amplitude em relação às faixas indicadas pelo DRIS e o CND e, em geral, com valores superiores as faixas estabelecidas por Malavolta et al. (1997). Corroborando com este trabalho, Wadt et al. (2012) determinaram padrões nutricionais para a cultura do arroz utilizando o método ChM e CND. Concluíram que a faixa estabelecida pelo método da Chance Matemática foi mais ampla que aquelas indicadas pelo método da CND.

De modo geral, houve pouca concordância das faixas de suficiência dos métodos de diagnose avaliados (ChM, DRIS e CND) em relação à faixa estabelecida por Malavolta et al. (1997).

Em relação ao nutriente Mg, este foi interpretado por todos os métodos com em nível excessivo. No entanto ao comparar com a faixa citada por Malavolta et al. (1997), a mesma diagnosticou que o teor de Mg encontrava-se na maioria dos talhões, em deficiência na planta. O diagnóstico de excesso de Mg a partir das normas geradas neste trabalho deve ser visto com cautela. Isto porque em muitos talhões antecedendo o milho foi cultivado hortaliças. Nessas é usual a aplicação de maiores doses de Ca e de K o que pode reduzir o teor de Mg na planta.

De forma a validar a importância da regionalização das normas, de modo geral, a amplitude das faixas ótimas obtidas mostraram-se menores que a amplitude das faixas de suficiência encontradas na literatura (Malavolta et al. 1997). Dessa forma, o desenvolvimento desses métodos em nível regional apresenta maior confiabilidade ao diagnosticar talhões com as mesmas características das normas estabelecidas. Trabalhos conduzidos com a cultura do algodão (Serra et al., 2010a), da soja (Urano et al., 2007) e da laranja-pera (Camacho et al., 2012) chegaram a resultados semelhantes aos apresentados neste trabalho.

Houve, em geral, maior semelhança na ordem de limitação nutricional por excesso em relação à ordem de limitação por deficiência apresentada pelos três métodos (Tabela 15). Os nutrientes Zinco (Zn) e Ferro (Fe) foram os mais negativos, ou seja, são os nutrientes de maior limitação em relação ao resultado dos três métodos. Em se tratando da desordem nutricional por excesso, o nutriente de maior desordem por excesso, foi o magnésio (Mg) para os três métodos empregados. A interpretação por faixas oficiais vigentes não apresentou resultados na ordem de limitação nutricional semelhante à apresentada pelos métodos expostos neste trabalho.

O método CND por gerar faixas estreitas e por diagnosticar a relação multivariada entre nutrientes pode ser considerado o método mais promissor para diagnóstico do estado nutricional do milho.

Tabela 15. Frequência de diagnose nutricional para macronutrientes e micronutrientes determinada pelos métodos ChM, DRIS e CND em talhões comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG na Safra 2011/2012 e 2012/2013

Nutriente	Método	Faixa ótima	Estado nutricional (%)		
			D[1]	N[2]	E[3]
N	ChM	37,7-40,9	65,2	30,3	4,5
	DRIS	36,3-38,7	41,6	36,0	22,5
	CND	36,1-39,0	41,6	36,0	22,5
	Literatura[4]	27,5-32,5	2,2	12,4	85,4
P	ChM	3,4-3,8	34,8	44,9	20,2
	DRIS	3,4-3,7	39,3	39,3	21,3
	CND	3,5-3,6	49,4	29,2	21,3
	Literatura	2,5-3,5	4,5	51,7	43,8
K	ChM	25,2-28,2	53,9	24,7	21,3
	DRIS	24,1-27,5	37,1	38,2	24,7
	CND	24,1-27,4	37,1	38,2	24,7
	Literatura	17,5-22,5	0	19,1	80,9
Ca	ChM	4,6-5,7	19,1	47,2	33,7
	DRIS	4,8-5,8	25,8	42,7	31,5
	CND	4,8-5,8	25,8	46,1	28,1
	Literatura	2,5-4,0	0	9,0	91,0
Mg	ChM	1,6-2,0	7,9	23,6	68,5
	DRIS	1,8-2,1	16,9	34,8	48,3
	CND	1,8-2,1	16,9	34,8	48,3
	Literatura	2,5-4,0	73,0	27,0	0
S	ChM	2,7-3,4	68,5	29,2	2,2
	DRIS	2,2-2,7	22,5	56,2	21,3
	CND	2,3-2,8	31,5	49,4	19,1
	Literatura	1,5-2,0	0	3,4	96,6
Fe	ChM	166,9-224,0	64,0	27,0	9,0
	DRIS	142,5-199,7	50,6	28,1	21,3
	CND	140,3-201,9	48,3	30,3	21,3
	Literatura	50,0-250,0	0	94,4	5,6
Cu	ChM	11,2-14,0	61,8	24,7	13,5
	DRIS	10,3-12,9	38,2	42,7	19,1
	CND	10,0-13,1	37,1	43,8	19,1
	Literatura	6,0-20,0	3,4	96,6	0
Mn	ChM	19,3-31,3	20,2	51,7	28,1
	DRIS	24,2-42,9	44,9	43,8	11,2
	CND	23,1-43,5	40,4	48,3	11,2
	Literatura	50,0-150,0	93,3	6,7	0
Zn	ChM	22,4-40,4	61,8	36,0	2,2
	DRIS	21,0-30,8	57,3	29,2	13,5
	CND	20,5-31,2	49,4	39,3	11,2
	Literatura	15,0-50,0	12,4	87,6	0
B	ChM	10,0-18,0	30,3	57,3	12,4
	DRIS	11,0-15,6	44,9	36,0	19,1
	CND	10,5-16,1	44,9	41,6	13,5
	Literatura	15,0-20,0	77,5	12,4	10,1

[1]Deficiência nutricional; [2]equilíbrio nutricional; [3]excesso nutricional; Malavolta et al. (1997).

Tabela 16. Ordem de limitação nutricional (maior limitação para menor limitação) considerando a frequência relativa dos 89 talhões de baixa produtividade (<11.795 kg ha^{-1}) determinada pelos método ChM, DRIS e CND em talhões comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG na Safra 2011/2012 e 2012/2013.

Método	Limitação nutricional (por deficiência)	Limitação nutricional (por excesso)
ChM	S>N>Fe>Cu=Zn>K>P>B>Mn>Ca Mg	Mg>Ca>Mn>K>P>Cu>B>Fe>N>=S=Zn
DRIS	Zn>Fe>Mn=B>N>P>Cu>K>Ca>S>Mg	Mg>Ca>K>N>P=S=Fe>Cu=B>Zn>Mn
CND	P=Zn>Fe>B>N>Mn>K=Cu>S>Ca>Mg	Mg>Ca>K>N>P=Fe>S=Cu>B>Mn=Zn
Literatura[1]	Mn>B>Mg>Zn>P>Cu>N>K=Ca=S=Fe	S>Ca>N>K>P>B>Mg=Fe=Cu=Mn=Zn

[1]Malavolta et al. (1997)

4. Conclusões

Os índices diagnósticos foliares ou valores de referência (normas) desenvolvidos para interpretação de resultados de análise foliar para a região do Alto Paranaíba foram distintos daqueles desenvolvidos em outros locais para a cultura do milho.

Os nutrientes de maior limitação nutricional por deficiência, pelos métodos DRIS, CND e ChM, foram o Ferro (Fe) e o Zinco (Zn) e, por excesso, o nutriente de maior limitação é o Magnésio (Mg).

O método CND foi o mais adequado por apresentar faixas estreitas dos teores adequados.

5. Referências bibliográficas

ALVES, L.C. Faixas de suficiência e níveis ótimos de atributos da fertilidade do solo para a cultura do café em Minas Gerais. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, 2012. 66p. (Dissertação de Mestrado).

BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R. Princípios da diagnose foliar. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.; FONTES, M.P.E. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfológicos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo/ Universidade Federal de Viçosa, 1996. p.646-659.

BEAUFILS, E.R. Diagnosis and Recomendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Pietermeritzburg, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).

BORGES, I.D.; VON PINHO, R.G.; PEREIRA, J.L.A.R. Acúmulo de micronutrientes em híbridos de milho em diferentes estádios de desenvolvimento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1018-1025, 2009.

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 laranjeira-pera. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.46, p.193-200, 2012.

CHEN, Y.; BARAK, P. Iron nutrition of plants in calcareous soils. **Advance in Agronomy**, v.35, p.217-240, 1982.

CRESTES, J.E.; ECHER, F.R. Establishing Standards for the Integrated Recommendation and Diagnosis System (DRIS) for irrigated bean crops. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, p.1921-1933, 2010.

HØGH-JENSEN, H.; KAMALONGO, D.; MYAKA, F.A.; ADU-GYANFI, J.J. Multiple nutrient imbalances in ear leaves of on-farm unfertilized maize in eastern and southern Africa. **African Journal of Agricultural Research**, v.4, p.107-112, 2009.

HUANG, H.; HU, C.X.; TAN, Q.; HU, X.; SUN, X.; BI, L. Effects of Fe–EDDHA application on iron chlorosis of citrus trees and comparison of evaluations on nutrient balance with three approaches. **Scientia Horticulturae**, v.126, p.137-142, 2012.

JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.12, p.785-794, 1981.

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, 2001.

LANA, R.M.Q.; OLIVEIRA, S.A.; LANA, Â.M.Q.; FARIA, M.V. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1147-1156, 2010.

LETZSCH, W.S. Computer program for selection of norms for use in the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p.339-347, 1985.

MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R.D.; OLIVARES-SÁENZ E.; PÉREZ-VEYNA, O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.L.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.D. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in a calcareous soil. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.2019-2033, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI,G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., Piracicaba, Potafos, 1997. p.115-230.

MENGEL, K. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis on calcareous soils. **Plant Soil**, v.165, p.275-283, 1994.

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.

NZIGUHEBA, G.; TOSSAH, B.K.; DIELS, J.; FRANKE, A.C.; AIHOU, K.; IWUAFOR, E.N.O.; NWOKE, C.; MERCKX, R. Assessment of nutrient deficiencies in maize in nutrient omission trials and long-term field experiments in the West African Savanna. **Plant and Soil**, v.314, p.143-157, 2009.

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.

REIS, R.A. DRIS norms universality in the corn crop. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.711-735, 2002.

REIS JÚNIOR, R.A.; CORRÊA, J.B.; CARVALHO, J.G.; GUIMARÃES, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: Normas Dris e teores foliares adequados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.801-808, 2002.

ROCHA, A.C.; LEANDRO, W.M.; ROCHA, A.O.; SANTANA, J.G.; ANDRADE, J.W. de S. Normas DRIS para cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO. **Bioscience Journal**, v.23, p.50-60, 2007.

SANTOS, F.C.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. SEDIYAMA, C.S. Modelagem da recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1661-1674, 2008.

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, p.97-104, 2010a.

SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; CAMACHO, M.A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.105-113, 2010b.

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 Agropecuaria Brasileira**, v.4, p.1421-1428, 2006.

URANO, E.O.M.; KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado de diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.63-72, 2007.

URRICARIET, S.; LAVADO, R.S.; MARTÍN, L. Corn response to fertilization and SR, DRIS and PASS interpretation of leaf and grain analysis. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.35, p.413-425, 2004.

WADT, P.G.S. Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 123p. (Tese de Doutorado).

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.; ALVAREZ V.; V.H.; NOVAIS, R.F.; FONSECA, S.; BARROS, N.F. O método da Chance Matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.773-778, 1998.

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.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Advances in Soil Science**, v.6, p.149-188, 1987.

YOUNGDAHL, L.J.; Svel, L.V.; Liebhard, W. C.; Tell, M.R. Changes in the Zinc-65 distribution in corn root tissue with a phosphorus variable. **Crop Science**, v.17, p.66-69, 1977.

6. CONCLUSÕES GERAIS

1) Os índices diagnósticos foliares ou valores de referência (normas) desenvolvidos para interpretação de resultados de análise foliar para a região do Alto Paranaíba, foram distintos daqueles desenvolvidos em outros locais para a cultura do milho.

2) Os índices diagnósticos gerados pelos métodos tradicionais (FS e IBK) foram distintos aos dos métodos promissores (ChM, DRIS e CND).

3) O diagnóstico apresentado neste trabalho, aponta que os nutrientes de maior limitação nutricional por deficiência, foram o Ferro (Fe) e o Zinco (Zn) e por excesso o nutriente de maior limitação é o Magnésio (Mg).

4) O diagnóstico realizado pela literatura oficial vigente, sobre o grupo de baixa produtividade foi diferente do diagnóstico utilizando os índices diagnósticos desenvolvidos neste trabalho.

5) Os métodos FS e CND foram os mais adequados por apresentar faixas estreitas dos teores adequados.