



Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho

Roney M. Gott¹, Leonardo A. de Aquino², André M. X. de Carvalho³,
Luiz P. D. dos Santos⁴, Pedro H. M. P. Nunes⁵ & Bruna S. Coelho⁶

¹ UFV - CRP, Rio Paranaíba, MG. E-mail: roneygott@hotmail.com

² UFV - CRP, Rio Paranaíba, MG. E-mail: leonardo.aquino@ufv.br (autor correspondente)

³ UFV - CRP, Rio Paranaíba, MG. E-mail: andre.carvalho@ufv.br

⁴ UFV - CRP, Rio Paranaíba, MG. E-mail: luizsantos.ufv@gmail.com

⁵ UFV - CRP, Rio Paranaíba, MG. E-mail: pedronunes.ufv@gmail.com

⁶ UFV - CRP, Rio Paranaíba, MG. E-mail: brunacp56@hotmail.com

Palavras-chave:

Zea mays L.
nível crítico
equilíbrio nutricional

RESUMO

A diagnose foliar é o método de maior relevância na definição e na interpretação do estado nutricional das plantas. A interpretação correta sobre o estado nutricional da cultura só é possível quando se regionalizam os valores de referência. Objetivou-se, com este trabalho, determinar índices diagnósticos para interpretação de resultados de análise foliar de milho mediante o uso dos métodos de interpretação: Nível crítico (NC), Faixa de suficiência (FS) e Índices Balanceados de Kenworthy (IBK). Amostraram-se solos, folhas e produtividade em 120 lavouras de milho, nas safras agrícolas 2010/2011 e 2011/2012, na região do Alto Paranaíba, MG. Para gerar os índices diagnósticos pelos métodos FS e IBK a população foi dividida em duas subpopulações, com base na produtividade: acima ou abaixo de 11.795 kg ha⁻¹. Os teores de nutrientes propostos como adequados pelos métodos citados foram semelhantes. A amplitude das faixas ótimas foi menor que a encontrada na literatura para milho. Os índices diagnósticos regionalizados pelos métodos NC, FS e IBK aumentam a confiabilidade ao diagnosticar talhões com as mesmas características das normas estabelecidas em relação a valores de referência universal.

Key words:

Zea mays L.
critical level
nutritional equilibrium

Diagnostic index for interpretation of foliar analysis of corn

ABSTRACT

At present, the leaf analysis is the method of greatest relevance in the definition and interpretation of nutritional status of plants. The correct interpretation of the nutritional status of the crop is only possible when it regionalizes reference values (standards). This study aimed to determine reference values for the interpretation of the results of leaf analysis of maize through the use of methods of interpretation: critical levels (CL), sufficiency range (SR) and balanced indexes of Kenworthy (BIK). Sampling of soil, leaves and productivity was conducted in 120 commercial crops of corn, in the crop year of 2010/2011 and 2011/2012, in the region of Alto Paranaíba, MG. To generate the diagnostic indexes by the methods SR and BIK, the population was divided into two sub-populations: with the productivity above and below 11,795 kg ha⁻¹. Levels and normal ranges proposed by the cited methods were very similar. The amplitude of optimum ranges were lower when compared to that one found in the literature. The diagnostic indexes regionalized by the methods CL, SR and BIK increased the reliability when diagnosing plots with the same characteristics of the standards approved in relation to universal reference values.

INTRODUÇÃO

Uma das formas de se maximizar a eficiência da 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 à citada (Setiyono et al., 2010). Portanto, o incremento do rendimento de grãos e a absorção total de nutrientes não apresentam efeito de proporcionalidade pontual em altas produtividades, carecendo de cuidados com o balanço nutricional do cereal.

O manejo nutricional da cultura pode ser melhorado pelo uso de análise foliar como ferramenta operacional (Camacho et al., 2012). Quando usada corretamente, a análise foliar pode ser eficaz para o planejamento e monitoramento operacional com vista a projetos de fertilização tanto para culturas perenes como, atualmente, 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.

As interpretações dos resultados da análise foliar através dos métodos univariados, como o Nível Crítico (NC), a Faixa de Suficiência (FS) e o Índice Balanceado de Kenworthy (IBK) são frequentemente os mais utilizados para diagnosticar o estado nutricional das culturas (Camacho et al., 2012; Coelho

et al., 2013). De acordo com Serra et al. (2010), esses são, pela praticidade na interpretação e por possibilitar informações claras em relação à tomada de decisão da recomendação nutricional, os mais difundidos como métodos de interpretação. Os métodos consideram cada elemento contido na amostra de forma univariada (NC, FS e IBK) sem levar em consideração as relações e as interações entre os nutrientes.

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 variação no teor com a idade da planta nem 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 uma vantagem adicional sobre o método ao nível crítico, que é considerar uma faixa de valores adequados e não um valor pontual. O método dos Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) permite simplificar a interpretação dos resultados de análise foliar. Este método de diagnose aborda o aspecto de balanço nutricional ao analisar cada nutriente de maneira isolada dos demais, dando uma ideia de saldo existente entre o que foi efetivamente absorvido e o que era necessitado pela planta (Kenworthy, 1961). Os métodos univariados estão sendo atualizados buscando maior precisão em suas interpretações (Camacho et al., 2012).

Com o avanço da agricultura as normas referenciais desses 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, em se tratando da cultura do milho, as tabelas de referência para métodos univariados compreendem faixas nutricionais para produtividades de milho de até 8 t ha^{-1} ; entretanto são comuns, no Alto Paranaíba, lavouras com produtividades superiores a 12 t ha^{-1} ; logo, os níveis críticos das tabelas de interpretação divulgadas na literatura se encontram desatualizados perante as produtividades atuais. Neste contexto e à medida em que a agricultura se intensifica, verifica-se importância de novos critérios para adubação sendo imprescindível definir padrões seguros para ajustar as necessidades da cultura (Pinho et al., 2009).

É de suma relevância, portanto, ajustar as faixas de nutrientes através dos métodos univariados para que se possa estabelecer as faixas nutricionais em função das atuais produtividades na região.

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

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em talhões comerciais de milho, nas safras agrícolas 2011/2012 e 2012/2013, na região do Alto Paranaíba, MG, nos municípios de Carmo do Paranaíba, Ibiá, Patos de Minas, Patrocínio, Rio Paranaíba, São Gotardo, Serra

do Salitre e Tiros. Visando à composição do banco de dados para geração dos índices diagnósticos foliares, procedeu-se à coleta de folhas e da produtividade, em 120 talhões comerciais, nos municípios citados. Os híbridos de milho dos talhões foram simples; os mais comuns foram o Pioneer 30F53, 3646 e 4285, o Dekalb 390, o Dow Agrosience 2B707 e 2A550 e o Syngenta Status.

Em geral, o solo apresentou, nos talhões amostrados, textura argilosa, classificada como Latossolos Vermelho-Amarelo. O clima da região é tropical (classificado como Aw, segundo Köppen-Geiger) com estação seca e período chuvoso bem definido, entre os meses de outubro a março.

Foram georreferenciados, no talhão, dois pontos amostrais. Em cada ponto amostral retiraram-se folhas e a produtividade ao final do ciclo, num raio de 10 m.

No estádio R1 (aparecimento dos estilos-estigma nas espigas) foram amostradas 30 folhas por ponto georreferenciado, conforme Malavolta et al. (1997). Para cada amostra individual padronizou-se retirar a folha índice, que consistiu na 1ª folha fisiologicamente madura, oposta e abaixo da espiga. No final da amostragem as 60 folhas foram acondicionadas em sacos de papel cujas amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar, a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, até massa constante, e só então triturada.

No estádio R6 (maturidade fisiológica), a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) foi determinada a partir da amostragem de quatro linhas de cultivo, com cinco metros cada uma e em cada ponto amostral, respectivamente; enfim, realizou-se a determinação da umidade; posteriormente também se realizou a correção da produtividade para 13% de umidade em base úmida (b.u.).

Os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, foram determinados 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} .

Estabeleceu-se padrão referência de teores foliares conforme utilizado em Serra et al. (2010) e Camacho et al. (2012); para tal foram formados dois subgrupos (baixa e alta produtividade) em que o limiar entre eles foi a produtividade média + 2/3 desvio-padrão, dos talhões comerciais da região do Alto Paranaíba; já o limiar de separação dos subgrupos consistiu da produtividade de $11.795 \text{ kg ha}^{-1}$.

O método do Nível Crítico (NC) foi determinado através do ajuste de modelos matemáticos lineares determinados por meio de análise de regressão. A fim de determinar o teor ótimo (NC) agruparam-se os teores das 120 amostras, segundo utilizado em Bataglia et al. (2004) em 13 classes com os respectivos teores médios de nutrientes; a partir da relação causal entre a variável produtividade e o teor de cada nutriente geraram-se os modelos matemáticos. A partir do modelo matemático, o nível é reconhecido como sendo o correspondente a 90% da máxima produtividade na variável explicativa.

Para obtenção da faixa de suficiência (FS) definiu-se o limite inferior como a média (y), do teor de um nutriente da população de referência (alta produtividade) menos seu desvio padrão da mesma (S_y). Por sua vez, o limite superior da faixa de suficiência consistiu da média do teor de um nutriente da população de referência mais o desvio padrão. Avaliaram-se os nutrientes,

independentemente dos demais e se estabeleceram as faixas: deficiente, suficiente e excessiva; determinou-se ainda a faixa de suficiência, de acordo com a Eq. 1.

$$FS = y \pm Sy \quad (1)$$

Foram gerados, para o método do Índice Balanceado de Kenworthy (IBK) os Índices, com base nas Eqs. 2 e 3:

para $A < X$

$$\begin{aligned} P &= (A/X) \cdot 100 \\ I &= (100 - P) \cdot (CV/100) \\ IBK &= P + I \end{aligned} \quad (2)$$

para $X > A$

$$\begin{aligned} P &= (A/X) \cdot 100 \\ I &= (100 - P) \cdot (CV/100) \\ IBK &= P - I \end{aligned} \quad (3)$$

em que:

- A - valor da amostra
- X - valor da média dos talhões com alta produtividade
- CV - coeficiente de variação
- IBK - Índice Balanceado de Kenworthy
- P - em % de X
- I - influência da variação

De acordo com as equações acima descritas, a variabilidade (CV) exerce grande influência na determinação dos índices. Quando o valor da amostra estiver abaixo do padrão a influência da variabilidade será adicionada; caso contrário, será subtraída.

Para determinar as faixas de teores foliares adequados (padrões) ajustaram-se modelos matemáticos entre o IBK e o teor foliar de cada nutriente. O teor foliar que resulta no modelo ajustado igual a IBK de 100% é considerado teor ótimo. Definiu-se o limite inferior da faixa de suficiência como o correspondente a 83% do teor ótimo e o superior como 117% do teor ótimo. Esta faixa de teores foi definida como normal. Compararam-se os índices diagnósticos (normas) obtidos pelos métodos NC, FS e IBK aos apresentados por Malavolta et al. (1997).

Para cálculo das funções e dos índices para os métodos NC, FS e IBK, utilizou-se do auxílio da estatística descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar as normas utilizaram-se 25% do total de talhões visando determinar os teores da população de referência, valor este considerado adequado (Khiari et al., 2001).

Noventa por cento dos talhões desta pesquisa apresentaram produtividades acima daquelas citadas por Malavolta et al. (1997) no estabelecimento de teores foliares de nutrientes adequados para milho. Esta 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 1) se assemelha às produtividades obtidas pelos agricultores norte-americanos que possuem média de 10.070 kg ha⁻¹ de grãos (USDA, 2014). Por outro lado, muito acima da média brasileira, que é 4.808 kg ha⁻¹ de grãos (CONAB, 2013).

Tabela 1. Estatística descritiva (mínimo, média, máximo, desvio padrão (s) e coeficiente de variação - CV) determinada para macronutrientes¹ e micronutrientes² obtidos pela análise foliar da cultura do milho juntamente com suas respectivas produtividades³, em talhões comerciais⁴, 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 (g kg⁻¹) e micronutrientes (mg kg⁻¹); ³Unidade (kg ha⁻¹); ⁴Amostras analisadas = 120

Neste trabalho os coeficientes de variação para os teores foliares de N, P, K, S, Ca são menores que 25% demonstrando que o conjunto de dados desses nutrientes é homogêneo (Tabela 1), porém 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.

Quando da determinação dos teores de nutrientes por meio do método do NC equações matemáticas foram ajustadas entre as classes dos teores de nutrientes em folhas de milho e suas respectivas médias de produtividade (Tabela 2); o modelo de melhor ajuste para essas relações foi o linear, exceto para o Ca.

O NC obtido dos macronutrientes, exceto o de Mg, se encontra acima dos teores determinados por Malavolta et

Tabela 2. Valores do Nível Crítico (NC) para macronutrientes¹ e micronutrientes², obtidos em lavouras comerciais de milho na região do Alto Paranaíba, MG, nas safras 2011-2012 e 2012-2013

	NC ³	Equação	R ²
N	35,7	$N = 25,66 + 0,0095^{**} P_{90\%}$	0,69
P	3,6	$P = 1,828 + 1,41 \times 10^{-4**} P_{90\%}$	0,65
K	25,9	$K = 16,532 + 7,56 \times 10^{-4**} P_{90\%}$	0,43
Ca	5,2	$Ca = -2,874 + 0,00158^P P_{90\%} - 7,47 \times 10^{-6P} P_{90\%}^2$	0,36
Mg	2,0	$Mg = 3,220 - 9,9 \times 10^{-5**} P_{90\%}$	0,43
S	2,5	$S = 1,785 + 6,19 \times 10^{-5**} P_{90\%}$	0,44
Fe	163,2	$Fe = 76,664 + 6,95 \times 10^{-3**} P_{90\%}$	0,29
Cu	11,4	$Cu = 5,622 + 4,64 \times 10^{-4**} P_{90\%}$	0,46
Mn	30,6	$Mn = 13,139 + 1,39 \times 10^{-3P} P_{90\%}$	0,48
Zn	24,6	$Zn = 9,6214 + 1,20 \times 10^{-3**} P_{90\%}$	0,50
B	13,1	$B = 5,327 + 6,18 \times 10^{-4**} P_{90\%}$	0,38

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

al. (1997). O provável motivo para os elevados NC obtidos, foi devido ao cultivo em solos de alta fertilidade e à elevada produtividade que esses talhões obtiveram. O menor NC ocorre para o Mg 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 extrapolou os teores adequados de macronutrientes em relação aos recomendados pela literatura.

De maneira geral e embora seja uma determinação de valores de referência para uma região específica, os NC_s dos micronutrientes se acham dentro da faixa de suficiência estabelecida por Malavolta et al. (1997).

Adotou-se a produtividade mínima de 11.795 kg ha⁻¹ como divisor dos subgrupos de alta ou 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.

De modo geral, as Faixas de suficiência (FS) obtidas para os macronutrientes no presente trabalho, são superiores às encontradas nas recomendações oficiais existentes, exceto para o macronutriente Mg (Tabela 3).

Para o nutriente (P) a redução na amplitude da faixa e o aumento em relação às faixas nutricionais oficiais, podem vir a colaborar com recomendações mais precisas. Este nutriente possui alta variabilidade na demanda nutricional em híbridos de elevado potencial produtivo quando cultivados em diferentes regiões, conforme comprovado nos trabalhos de Pinho et al. (2009) e Setiyono et al. (2010).

A faixa de suficiência de Mg abaixo da citada na literatura é reflexo do manejo nutricional adotado nas propriedades; a

aplicação de altas doses de potássio (K) causam efeito antagônico na absorção e no teor de Mg na folha, conforme constatado por Scherer (1998). Apesar disso, o Mg foi o menos limitante por deficiência dos nutrientes. É provável que os teores foliares de Mg citados na literatura, tenham sido obtidos de plantas cultivadas em solos com menor relação Mg/K, que a desta pesquisa.

Em relação aos micronutrientes Zn, Cu e B, estão dentro da faixa de suficiência e o Mn abaixo da citada faixa, por Malavolta et al. (1997). A baixa concentração de Mn foliar está associada às lavouras cultivadas em solos com baixo conteúdo de Mn e com pH acima de 6,0. Souza et al. (2010) avaliaram, em amostras da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Argiloso (Viçosa, MG) e Latossolo Vermelho Arenoso (Três Marias, MG) variações na absorção de B, Cu, Fe, Mn e Zn durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da soja induzidas pela fixação biológica de N₂ e pelo pH inicial de amostras dos dois solos e 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 a variável de grande influência na disponibilidade dos nutrientes (Souza et al., 2010). Em função, provavelmente, 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 o Fe e Mn apresentaram as maiores amplitudes; a maior amplitude influencia negativamente as interpretações; o Mn é considerado o segundo micronutriente de maior relevância para a cultura do milho, em referência 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).

As normas geradas pelo método IBK, em função da média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) da população de referência, constam na Tabela 4. Os resultados das faixas de suficiência e teores calculadas pelo IBK se assemelharam aos obtidos pelos métodos NC e FS (Tabela 4). Notou-se que nenhum nutriente extrapolou as faixas consideradas excessivas (150-183%) ou deficientes (1-50%). Constatou-se a grande influência dos solos de fertilidade corrigida sobre os teores foliares.

Após a aplicação dos modelos matemáticos para os teores foliares da população de alta produtividade em função dos índices de Kenworthy, obtiveram-se os modelos lineares significativos (P < 0,01) (Tabela 5).

A grande vantagem do IBK em relação aos métodos NC e FS, é demonstrar a sequência da limitação nutricional, semelhante ao método DRIS. Com este conhecimento associado ao histórico do talhão, pode-se planejar a prioridade dos nutrientes nas adubações (Kenworthy, 1961).

Lana et al. (2010) avaliaram, em trabalho realizado na região do Alto Paranaíba, MG, o estado nutricional do cafeeiro na

Tabela 3. Faixas de suficiência de macronutrientes¹ (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes² (Fe, Cu, Mn, Zn e B) interpretadas 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	Faixa			Malavolta et al. (1997) ³
	Deficiente	Adequada	Excessiva	
	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); ³Recomendações oficiais para a cultura do milho usada atualmente

Tabela 4. Teor ótimo de macronutriente (g kg⁻¹) e micronutriente (mg kg⁻¹), faixa de suficiência, normas (média, desvio-padrão (s-padrão) e coeficiente de variação - CV) determinados pelo Método do Índice Balanceado de Kenworthy (IBK) em lavouras comerciais¹ da região do Alto Paranaíba, MG, nas safras 2010/2011 e 2011/2012

Nutriente	Teor ótimo	Faixa de suficiência	Normas (variáveis) - IBK		
			Média	s-padrão	CV (%)
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 Número de amostras da população de alta produtividade = 31

Tabela 5. Modelo matemático para o teor de macronutriente (g kg⁻¹) e micronutriente (mg kg⁻¹) nas amostras¹ foliares de milho, em função do Índice Balanceado de Kenworthy (IBK)

Modelo matemático	Amplitude (%)	R ²
$N = -3,0042 + 0,4041^{**}I_N$	$84,4 < I_N < 116,6$	0,9999
$P = -0,270 + 0,0381^{**}I_P$	$87,3 < I_P < 114,1$	0,9999
$K = -3,561 + 0,2918^{**}I_K$	$83,6 < I_K < 129,9$	0,9999
$Ca = -1,074 + 0,0638^{**}I_{Ca}$	$69,1 < I_{Ca} < 129,7$	0,9999
$Mg = -0,353 + 0,0232^{**}I_{Mg}$	$77,0 < I_{Mg} < 125,1$	0,9999
$S = -0,531 + 0,0308^{**}I_S$	$72,8 < I_S < 128,1$	0,9999
$Fe = -67,771 + 2,3927^{**}I_{Fe}$	$65,3 < I_{Fe} < 141,6$	0,9999
$Cu = -3,186 + 0,1477^{**}I_{Cu}$	$70,9 < I_{Cu} < 142,3$	0,9999
$Mn = -29,957 + 0,6339^{**}I_{Mn}$	$73,6 < I_{Mn} < 157,4$	0,9999
$Zn = -12,100 + 0,3793^{**}I_{Zn}$	$72,9 < I_{Zn} < 148,0$	0,9999
$B = -6,573 + 0,198^{**}I_B$	$68,6 < I_B < 159,5$	0,9999

¹ Número de amostras utilizadas no modelo matemático = 31

mencionada região, com o método DRIS para interpretação das análises foliares; após a interpretação das análises foliares se determinou a sequência de limitação nutricional à produtividade e por último aplicou-se o método de probabilidade de resposta à adubação (PRA) para definir quais nutrientes tinham maiores chances de responder à adubação. Os autores concluíram, daí, 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 média de limitação nutricional (mais deficiente para o mais excessivo) pelo IBK, foi: Fe = Zn > Mn > B > Cu > Ca > P > Mg > K > N > S. Em geral, os nutrientes que mais limitaram por deficiência foram Fe = Zn (41,6%) e Mn (36,0%) dos talhões enquanto o nutriente que mais limitou por excesso foi o Mg (33,7%) fato este justificado pelo baixo teor de Mg no subgrupo de alta produtividade. A elevada aplicação de potássio no subgrupo de alta produtividade pode ter limitado, possivelmente, a absorção de Mg em relação ao grupo de baixa produtividade, situação passível de caracterizar condições de desbalanço nutricional para o nutriente Mg.

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

Comumente, diagnoses avaliadas (NC, FS e IBK) concordaram na indicação de que o teor ótimo está próximo da média da população de referência enquanto as faixas ótimas se assemelham aos valores entre os métodos FS e IBK. Setyono et al. (2010) ressaltam que a concordância era prevista em virtude 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 6). Em relação às limitações por excesso, o Magnésio foi o nutriente que se destacou (37,5%) pela FS e (20,8%) e pelo IBK.

O nitrogênio está como o segundo nutriente de maior limitação nutricional pelo método FS (Tabela 7) o que 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 permite ponderar um número maior 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 interpretações mais exatas (Serra et al., 2010; Camacho et al., 2012).

Tabela 6. Frequência de diagnose nutricional para macronutrientes e micronutrientes determinada pelo método 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	5,6	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	93,2	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

¹Deficiência nutricional; ²Equilíbrio nutricional; ³Excesso nutricional

Tabela 7. Ordem de limitação nutricional (maior para menor limitação por deficiência) 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	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

¹Método da Faixa de Suficiência; ²Método Índices Balanceados de Kenworthy

Sugere-se, com base no exposto, 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.

CONCLUSÕES

1. Os índices diagnósticos foliares ou valores de referência desenvolvidos para interpretação de resultados de análise foliar para a região do Alto Paranaíba apresentaram-se distintos daqueles desenvolvidos em outros locais para a cultura do milho.
2. As faixas de suficiência geradas pelos métodos NC, FS e IBK se assemelharam entre si e diferem para todos os nutrientes da literatura oficial.
3. O diagnóstico apresentado neste trabalho apontou maior limitação nutricional por deficiência para o Ferro (Fe) e o Zinco (Zn) e por excesso para o Magnésio (Mg).

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa de estudos, e ao CNPq e à FAPEMIG, pelo auxílio financeiro na realização da pesquisa. À FUNARBE - Fundação Arthur Bernardes pela bolsa de excelência em pesquisa concedida ao segundo autor.

LITERATURA CITADA

- 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 frequência de resposta na produção. *Bragantia*, v.63, p.253-263, 2004.
- Borges, I. D.; Pinho, R. G. von; 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 laranja-pera. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.46, p.193-200, 2012.
- 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: CONAB 2013. 28p.
- Dias, J. R. M.; Wadt, P. G. S.; Tucci, C. A. F.; Santos, J. Z. L.; Silva, S. V. Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranja 'Pera' no estado do Amazonas. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, p.251-259, 2013.
- 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.
- 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, A. 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. de. Avaliação do estado nutricional da plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. p.115-230.
- Parent, L. E. Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, p.321-334, 2011.
- Pinho, R. G. von; 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.
- 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.
- 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.
- USDA - United States Department of Agriculture. World agricultural supply and demand estimates. Jul./2014. <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf. 24 Jul. 2014.