

Efeitos da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica no estado nutricional da cevada cervejeira

Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on nutritional status of malting barley

Efectos de la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica sobre el estado nutricional de cebada cervecera

Walter Quadros Ribeiro Junior¹, Anderson Cordeiro², Sebastião Alberto de Oliveira², Maria Lucrécia Gerosa Ramos², Andre Freiré Cruz³, Renato Fernando Amabile¹ e Adley Camargo Ziviane²

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Cerrados). ²Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. ³Kyoto Prefectural University, Graduate School of Life and Environmental Sciences. *Correo electrónico: andre@kpu.ac.jp

RESUMO

O estudo do estado nutricional e do equilíbrio entre os nutrientes é de fundamental importância para uma boa fertilização das culturas. Os objetivos deste trabalho foram: avaliar o efeito das doses de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) com relação ao estado nutricional da cultura, e calcular os níveis de suficiência de macro e micronutrientes para a cevada, por intermédio do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) e Índice de Balanço Nutricional (IBN). Este foi conduzido em condição de campo, na Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, Distrito Federal, durante o período de junho a novembro de 2004, utilizando-se o cultivar BRS 195. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, utilizando-se a matriz experimental Plan Puebla II. Foram coletadas amostras de 50 folhas bandeira no perfilhamento e no enchimento dos grãos, para a determinação dos nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn e Cu, para se definir a melhor época de amostragem e os níveis de suficiência dos nutrientes. A diagnose nutricional da cultura deve ser feita no perfilhamento. Os nutrientes com alta probabilidade de resposta a adubação, em ordem crescente em percentagem de tratamentos foram: B (28,6%) > K (21,5%) > Mn=Ca=P (14,3%). O IBN não apresentou correlação significativa com a produtividade.

Palavras chave: *Hordeum vulgare* L., nutrientes, diagnose foliar, DRIS.

ABSTRACT

The study of nutritional status and the equilibrium among nutrients is very important to an efficient crop fertilization. The objectives of this research were to evaluate the Nitrogen (N), Phosphorus (P) and Potassium (K) dosage related to nutritional status of the crop and to estimate the levels of sufficiency of macro and micronutrients for Barley through the Diagnosis Recommendation Integrated System (DRIS) and the Nutritional Balance Rate (NBR). The currently research was conducted in field conditions at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, Brazil, from June to November 2004 using the cultivar BRS 195. The experimental design was in randomized blocks with four replicates using the experimental matrix Plan Puebla II. Fifty leaf samples were taken during the flowering and grain formation for the determination of these nutrients: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn and Cu, to determine the best sampling time and the levels of nutrient sufficiency. The nutritional diagnosis of the crop should be done in the tillering. The nutrients with high probability of response to fertilization in crescent sequence in terms of treatments percentage were: B (28.6%) > K (21.5%) > Mn=Ca=P (14.3%). There was no correlation between NBR and productivity.

Key words: *Hordeum vulgare* L., nutrient, leaf diagnosis, DRIS.

RESUMEN

El estudio del estado nutricional y del equilibrio entre los nutrientes es de fundamental importancia para una buena fertilización de los cultivos. Los objetivos de esta investigación fueron: evaluar el efecto de las dosis de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), relacionadas al estado nutricional de la cebada y estimar los niveles de suficiencia de macro y micronutrientes para este cultivo a través del Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) e Índice de Balance de Nutrientes (IBN). Este trabajo se llevó a cabo en campo, en la estación experimental Embrapa Cerrados, ubicada en Planaltina, Distrito Federal, Brasil, de junio a noviembre de 2004, utilizando el cultivar BRS 195. El experimento fue diseñado en bloques al azar con cuatro repeticiones, usando la matriz experimental Plan Puebla II. Se recogieron 50 muestras de hojas durante las fases de macollaje y llenado del grano para determinar los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn y Cu, así como definir el mejor tiempo para la toma de muestras y los niveles de suficiencia de nutrientes. El diagnóstico nutricional del cultivo debe hacerse al macollaje. Los nutrientes con alta probabilidad de respuesta a la fertilización, en orden ascendente de porcentaje de tratamientos, fueron: B (28,6%) > K (21,5%) > Mn = Ca = P (14,3%). El IBN no mostró correlación significativa con la productividad.

Palabras clave: *Hordeum vulgare* L., nutrientes, análisis foliar, DRIS.

INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é produzida comercialmente no Brasil desde 1930, e até meados de 1979 era cultivada somente na região sul do país e mesmo após o lançamento do plano nacional de auto-suficiência de cevada e malte (Amabile *et al.*, 2002), as importações continuaram devido à produção de cevada estar estrita a região Sul.

A auto-suficiência da cevada no Brasil pode ser favorecida pela viabilidade deste cereal no Cerrado que, cultivado no inverno, podem ser obtidas altas produtividades e boa qualidade de grãos, além do menor risco de ocorrência de chuva na colheita, o que causaria diminuição na qualidade dos grãos, e redução da incidência de doenças fúngicas (Amabile *et al.*, 2002).

Para a região do cerrado, há seis cultivares de cevada recomendadas e a cultura tem apresentado boa adaptação às condições de cerrado, devido à baixa incidência de doenças e sua eficiência no uso de água, apresentando alta produtividade (Amabile *et al.*, 2007; Amabile *et al.*, 2013). Apesar disso, são necessárias pesquisas relacionadas à utilização e à redução de insumos e defensivos para se obter grãos com melhor qualidade.

A diagnose foliar pode ser uma ferramenta útil para avaliar o estado nutricional da planta, mas deve ser utilizada com cautela, pois a composição do tecido foliar é influenciada pela idade da planta, maturação e interação entre os nutrientes (Walworth e Sumner, 1987). Deve-se levar em consideração, ainda, que os nutrientes na planta podem possuir sinergismo ou antagonismo entre si (Malvi, 2011).

Há vários métodos para se avaliar o estado nutricional das plantas, sendo que os de nível crítico e faixa de suficiência são os mais usados (Beaufils, 1973; Walworth e Sumner, 1987; Serra *et al.*, 2012; Serra *et al.*, 2014).

Com base na diagnose fisiológica, Beaufils (1973) propôs o método de Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS, pela suas siglas no inglês), que foi desenvolvido como mais um instrumento para a diagnose nutricional, com base em estudos com seringueiras (*Hevea brasiliensis*), nas décadas de 50 e 60, e admite-se que as relações entre dois nutrientes são os melhores indicadores do estado nutricional das plantas e é calculado um índice para cada nutriente e se considera sua relação com os demais (Mourão *et al.*, 2002).

O sistema DRIS, vem sendo utilizado como o método de diagnose do estado nutricional da planta e aplicado com sucesso em diversas culturas como a seringueira (Beaufils, 1971), cana-de-açúcar (Santos *et al.*, 2013), trigo (Chacón-Pardo *et al.*, 2013, Kaiser *et al.*, 2014), café (Arboleda *et al.*, 1988), milho (Escano *et al.*, 1981, Modesto *et al.*, 2014), entre outras.

O método DRIS utiliza relações binárias entre os macros e micronutrientes (N/P, P/N, N/K, K/N, etc), porque há relação entre dois nutrientes, introduzindo o conceito de índice primário (Costa, 1999; Wadt *et al.*, 2012). Com a utilização da relação entre dois nutrientes, o problema

com a acumulação da biomassa e redução da concentração de nutrientes com a idade da planta é resolvido (Beaufils, 1973; Walworth e Sumner, 1987; Singh *et al.*, 2000).

A primeira etapa para utilizar o método DRIS é o estabelecimento de normas DRIS (Walworth e Sumner, 1987; Bailey *et al.*, 1997). Para a determinação destas normas tornam-se necessárias a utilização de um banco de dados contendo informações que relacionem teores foliares e a produtividade, e com base neste banco de dados as variâncias das relações entre os teores dos nutrientes, média e coeficientes de variação são calculados (Beaufils, 1973; Malavolta *et al.*, 1998; Serra *et al.*, 2014).

As populações devem ser divididas em duas categorias, a população de referência, que não sofre influências adversas e que apresente produtividade superior ao nível estabelecido, e a população não referência, que sofre influência de outros fatores e com a produtividade menor que a estabelecida (Beaufils, 1973; Walworth e Sumner, 1987).

A utilização de diferentes doses de nutrientes na cultura da cevada, como o nitrogênio, através do método DRIS, pode ser um bom indicador da resposta da cultura à fertilização nitrogenada e, portanto o índice DRIS é sensível para diagnosticar a ordem de limitação dos nutrientes na cultura (Landriscini *et al.*, 2010).

Os objetivos deste trabalho foram: avaliar o efeito das doses de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) com relação ao estado nutricional da cultura, e calcular os níveis de suficiência de macro e micronutrientes para a cevada, por intermédio do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) e Índice de Balanço Nutricional (IBN).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em condição de campo, na Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, DF, em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, com altitude de 720 m, nas coordenadas geográficas 15° 35' 42" S e 47° 43' 27" W, em área de cerrado, durante o período de junho a novembro de 2004.

O experimento foi conduzido em área de primeiro ano de plantio direto, sobre a resteva de soja (*Glycine max*) e *Brachiaria decumbens*; a gramínea foi dessecada com glifosato, na dosagem de 3,0 L.ha⁻¹ do produto comercial, pós-emergente.

A análise química do solo foi realizada anteriormente à implantação do experimento, os resultados podem ser observados na Tabela 1.

As plantas foram irrigadas por sistema de irrigação por aspersão, em função da tensão de água no solo, quando blocos de gesso, instalados a 15 cm de profundidade no solo, mostravam valores médios de 100 kPa. Foram aplicados 400 mm de água durante o ciclo da cultura.

Os teores de N, P₂O₅ e K₂O aplicados, foram determinados de acordo com as tabelas de recomendação de adubação proposta por Minella (2003). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, utilizando-se a matriz experimental Plan Puebla II (Figura 1), segundo Fernandez e Laird (1978). As doses e fontes dos fertilizantes utilizados foram: a) N: 0, 30, 60 e 90 kg.ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio; b) P: 0, 40, 80 e 120 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de super fosfato simples; c) K: 0, 30, 60 e 90 kg.ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio e os tratamentos foram a combinação dos quatro níveis de N, P₂O₅ e K₂O.

Tabela 1. Resultados da análise química do solo, antes da implantação do experimento

Profundidade	pH	Al	Ca+Mg	H + Al	CTC	P	K	MO	Argila
(m)	H ₂ O		(cmol _c 1dm ⁻³)			(mg.dm ⁻³)		(g.kg ⁻¹)	
0,20	6,0	0,02	6,0	4,5	10,9	20,4	146,0	25,5	510,0

O plantio do experimento foi realizado no dia 10 de junho de 2004, utilizando-se o cultivar BRS 195 e coletado em novembro de 2004.

A parcela experimental constituiu-se de 9 linhas de 3,5 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,20 m (6,3 m²). A área útil das linhas centrais das parcelas era de 4,9 m².

No perfilhamento e no enchimento dos grãos foram coletadas 50 folhas bandeira em cada parcela, de forma aleatória, de acordo com a recomendação de Oliveira (2004). As folhas foram secas em estufa a 65 °C com ventilação forçada de ar por 72 horas, moídas e retirados 20g para análise foliar de macro e micronutrientes, segundo a metodologia da Embrapa (1999). Foram determinados os seguintes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn e Cu.

Com os resultados das concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn e Cu nas folhas e das produtividades, foi constituído o banco de dados necessário para a aplicação do método DRIS (Beaufils, 1973).

O melhor período de amostragem foi definido por meio da análise de regressão linear múltipla, entre a produtividade e os teores foliares dos nutrientes. Para o cálculo dos índices DRIS utilizou-se como critério de diferenciação entre as populações, a média de todas as produtividades mais o desvio padrão, que foi de 3264 kg.ha⁻¹.

Os cálculos dos índices DRIS foram realizados de acordo com a metodologia proposta por Malavolta (1997).

A obtenção da ordem de limitação dos nutrientes nos diferentes tratamentos, assim como a determinação do nível de interação entre os macro e os micronutrientes, foram obtidos por intermédio dos valores dos índices DRIS.

Os cálculos dos níveis de suficiência dos nutrientes da primeira aproximação, foram realizados de acordo com a metodologia de Oliveira e Souza (1993), entre os índices DRIS e os teores foliares.

Foi calculado o Índice de Balanço Nutricional (IBN), para determinar estado nutricional da

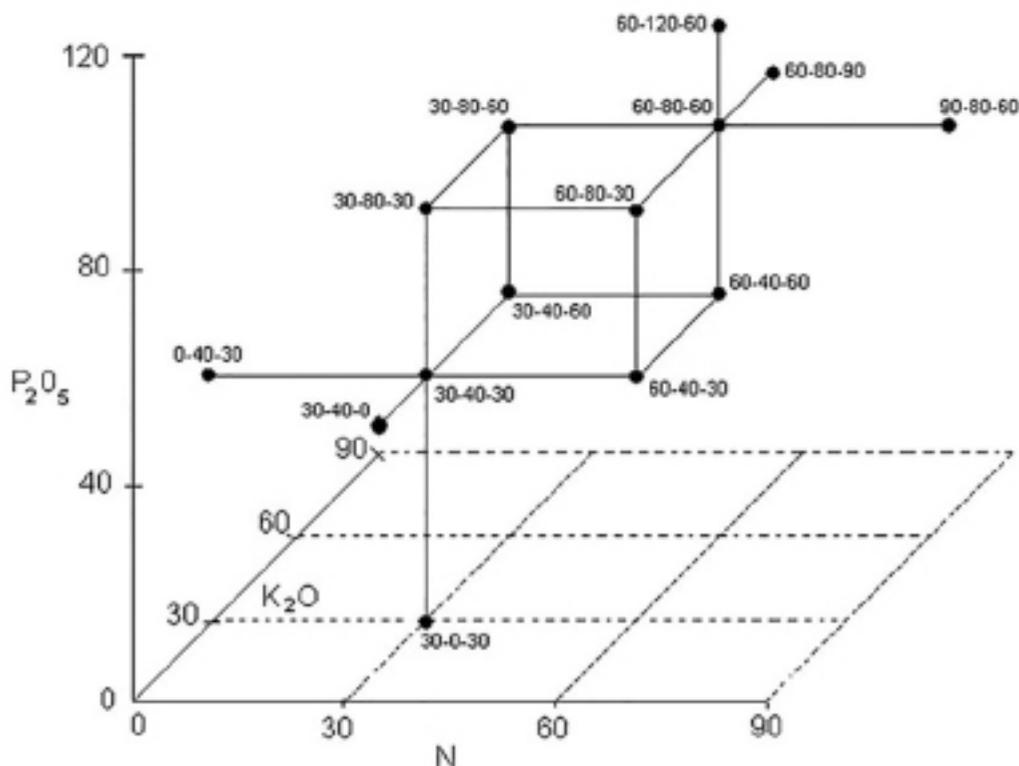


Figura 1. Representação gráfica da matriz experimental Plan Puebla II.

cultura, através da soma dos módulos do índice DRIS de cada tratamento nos diferentes macro e micronutrientes.

A colheita das plantas para a quantificação da produtividade foi realizada manualmente. Após a trilhagem, foi determinada a umidade dos grãos em cada parcela, e corrigida posteriormente para 13%, para a obtenção da produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises foliares, de macro e micronutrientes, e da produtividade, nos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 2. Esta indica que todos os elementos estão dentro do nível crítico recomendado, dependendo da adubação suas concentrações podem oscilar.

A análise de regressão múltipla determinou que a primeira época de amostragem (perfilhamento) apresentou maior correlação com a produtividade, com o valor de R^2 de 0,649 quando comparado com a segunda época de amostragem (enchimento de grãos), que apresentou o valor de R^2 igual a 0,636. Foi escolhida a época de amostragem no perfilhamento para se realizar a análise DRIS, pois neste período, ainda é possível fazer adubações corretivas, caso necessário.

Após o cálculo dos índices DRIS, os nutrientes foram classificados por ordem de limitação, utilizando-se a ordenação crescente, ou seja, quanto mais negativos foram os valores, maior foi a sua limitação, e quanto maior o valor positivo, menor foi a sua limitação, e os valores próximos a zero representaram a existência de equilíbrio do nutriente na planta (Tabela 3).

Em relação à ordem de limitação obtida pelo índice DRIS (Tabela 3), o boro foi o nutriente mais limitante para 28,6% dos tratamentos, sendo que deste, 50% se encontram dentro da população de referência ($3264 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). O segundo mais limitante foi o K apresentando índice negativo em 21,5% dos tratamentos. Destes, 66,7% estão acima da população de referência. Em seguida, os mais limitantes foram P, Ca, Mn e Mg com valores percentuais em relação à ordem de limitação de 14,3%, 14,3%, 14,3%, 7,2 % respectivamente. Os nutrientes N, S, Cu,

Fe e Zn foram os que menos apresentaram limitações nos tratamentos comparados com os outros.

Com estes resultados, é possível visualizar as contradições existentes entre os métodos de avaliação nutricional, valores de referência (níveis críticos) e o DRIS. Nos níveis críticos, foi observado que todos os nutrientes encontravam-se dentro dos teores adequados para a cultura (Tabela 2). Já através do método DRIS, os nutrientes P, Ca, Mn e Mn encontram-se limitantes (Tabela 3). Além destas divergências, o uso dos níveis críticos não permite a identificação das possíveis causas das limitações dos nutrientes (Malavolta *et al.*, 1998).

A limitação do B, observada através do método DRIS, nos tratamentos 2 (30-40-30) e 6 (60-40-30) foi devido ao Ca ser menos limitante, já que o Ca, pode causar adsorção do B, podendo provocar a limitação deste nutriente. No tratamento 14 (30-00-30) o B apresentou menos limitante, provavelmente devido à maior limitação de Ca (Olsen, 1972). Contudo, as produtividades de metade dos tratamentos estavam abaixo da população de referência, (Tabela 3), demonstrando que a deficiência de B neste experimento pode ter afetado a produtividade.

A limitação por escassez do B, nos tratamentos 3 (30-40-60) e 5 (30-80-60), pode ser devido ao N apresentar-se menos limitante no tratamento 3 (30-40-60), e o segundo menos limitante no tratamento 5, causando o efeito diluição de massa. A menor limitação de N proporciona um crescimento da planta mais rápido do que a translocação do B na planta, já que este nutriente não é móvel na mesma (Santos *et al.*, 2013).

Nos tratamentos 13 (00-40-30) e 8 (60-80-30), a limitação de Ca e Mg pode ter sido causada pelo seu antagonismo com o K, que apresentou-se menos limitante nestes tratamentos (Tabela 3). O excesso de K pode causar deficiência de Ca e Mg, e o excesso de Ca e Mg podem causar a limitação de K (Castro e Meneghelli, 1989; Gransee e Fühns, 2013). O mesmo efeito de antagonismo foi observado nos tratamentos 7 (60-40-60), 9 (60-80-60) e 10 (60-120-60), onde a maior limitação do K, foi decorrente da menor limitação de Mg e Ca.

Tabela 2. Resultados da análise foliar e produtividade nos diferentes tratamentos, no início do perfilhamento na cevada, cultivar BRS 195.

Tratamentos	N, P ₂ O ₅ e K ₂ O											Zn	Mn	Fe	Cu	B	S	Mg	Ca	K	P	N	Produtividade
	kg.ha ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹												
1	30-40-00	29,09	2,33	34,53	4,74	1,80	3,32	8,30	9,88	88,55	62,75	57,83	2964										
2	30-40-30	27,88	2,63	28,41	5,22	1,85	2,76	7,25	10,33	78,33	45,63	44,78	3187										
3	30-40-60	29,34	2,64	31,75	4,93	1,85	3,16	7,35	10,03	88,25	36,95	46,08	2905										
4	30-80-30	27,43	2,80	34,32	4,69	1,74	2,86	7,85	8,78	138,73	35,58	36,08	2681										
5	30-80-60	28,61	2,93	30,49	4,75	1,66	2,81	7,80	9,73	97,03	44,30	44,75	4328										
6	60-40-30	29,62	2,81	30,83	5,20	1,78	2,79	8,05	10,38	86,85	45,35	43,70	3506										
7	60-40-60	26,39	2,44	25,76	4,94	1,84	2,72	8,03	9,23	75,93	50,68	40,80	3462										
8	60-80-30	27,59	3,03	31,16	4,10	1,63	3,25	7,75	10,03	85,28	41,90	43,85	3237										
9	60-80-60	26,46	3,12	27,39	4,53	1,90	2,95	8,08	9,68	81,85	42,20	42,75	3617										
10	60-120-60	25,99	3,06	27,14	4,63	1,63	2,79	8,03	9,93	80,78	43,83	40,95	3216										
11	60-80-90	26,43	2,84	28,20	4,52	1,59	2,88	7,93	9,78	96,30	36,80	38,03	4290										
12	90-80-60	25,72	2,41	27,01	4,46	1,53	2,47	8,50	9,88	107,65	44,08	39,55	3377										
13	00-40-30	26,81	2,88	33,53	4,33	1,56	2,91	8,83	9,63	92,63	44,08	42,63	3012										
14	30-00-30	25,07	2,73	26,56	3,86	1,64	2,73	8,68	9,78	82,75	43,48	37,60	3286										
Níveis críticos ideais ⁽¹⁾		17-30	2-5	15-30	2,5-6	1,5-5	1,5-4	5-20	5-25	25-100	20-100	15-70											

⁽¹⁾ Fonte: Oliveira (2004).

Tabela 3. Índice DRIS e ordem de limitação dos nutrientes para os diferentes tratamentos.

Tratamentos	Índice DRIS											Ordem de limitação	
	N, P ₂ O ₅ e K ₂ O kg.ha ⁻¹												
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn		
1	30-40-00	97	-87	112	2	6	103	43	66	63	175	175	P>Ca>Mg>B>Fe>Cu>N>S>K>Mn=ZN
2	30-40-30	15	-32	-20	56	51	-28	-51	15	-18	1	3	B>P>S>K>Fe>Mn>Zn>N=Cu>Mg>Ca
3	30-40-60	58	-16	38	47	36	17	-66	12	25	-52	-1	B>Mn>P>Zn>Cu>S>Fe>Mg>K>Ca>N
4	30-80-30	44	-9	75	37	-18	-19	-85	-49	171	-155	-96	Mn>Zn>B>Cu>S>Mg>P>Ca>N>K>Fe
5	30-80-60	33	-9	32	10	-10	5	-24	15	52	2	21	B>Mg>P>Mn>S>Ca>Cu>Zn>K>N>Fe
6	60-40-30	7	-17	-8	37	22	-34	-38	-2	-1	-27	-21	B>S>Mn>Zn>P>K>Cu>Fe>N>Mg>Ca
7	60-40-60	-26	-37	-48	40	48	-39	-3	-19	-36	32	-7	K>S>P>Fe>N>Cu>Zn>B>Mn>Ca>Mg
8	60-80-30	32	39	48	-34	-30	46	-4	21	17	-17	17	Ca>Mg>Mn>B>Fe=Zn>Cu>N>P>S>K
9	60-80-60	-35	33	-47	3	23	-37	-19	-25	-42	-43	-44	K>Zn>Mn>Fe>S>N>Cu>B>Ca>Mg>P
10	60-120-60	-26	30	-31	-6	-6	-28	-8	-7	-24	-24	-29	K>Zn>S>N>Fe=Mn>B>Cu>Ca=Mg>P
11	60-80-90	-2	17	1	3	-18	-22	-34	-7	42	-74	-51	Mn>Zn>B>S>Mg>Cu>N>K>Ca>P>Fe
12	90-80-60	9	-53	19	-1	-31	-21	2	24	106	25	18	P>Mg>S>Ca>B>N>Zn>K>Cu>Mn>Fe
13	00-40-30	15	10	57	-36	-44	21	28	1	40	0	15	Mg>Ca>Mn>Cu>P>N=Zn>S>B>Fe>K
14	30-00-30	-43	22	-22	-45	-24	-25	30	-8	-13	-15	-29	Ca>N>Zn>S>Mg>K>Mn>Fe>Cu>P>B

A deficiência do Ca, segundo nutriente mais limitante no tratamento 1 (30-40-00), foi causada provavelmente pela menor limitação de Zn, já que a interação entre estes nutrientes gera a inibição competitiva, ou seja, diminuição na absorção de um nutriente pela combinação de outro por um sítio ativo carregador (Malavolta, 1997; Hafez *et al.*, 2013).

O excesso de K causa ainda a diminuição dos níveis foliares de Mg (Rhue *et al.*, 1986) e de Ca (Locascio *et al.*, 1992), pois estes elementos competem por sítios de absorção pela planta e o potássio reduz a concentração de Mg na parte aérea, através da redução da sua translocação das raízes para a parte aérea e reduz a absorção de Mg pelas raízes (Claassen e Wilcox, 1974; Gransee e Fühns, 2013). A alteração dessas concentrações de nutrientes pode trazer problemas ao crescimento vegetal, à morfologia da planta e afetar sua produção.

A limitação de P, nos tratamentos 1 (30-40-00) e 12 (90-80-60), ocorreu devido a seu

antagonismo com os nutrientes Fe e Zn (Malavolta *et al.*, 1998; Malvi, 2011). O mesmo foi observado no tratamento 11 (60-80-90), onde o Mn foi mais limitante, devido a menor limitação de P.

A matriz de correlação entre os índices DRIS (Tabela 4), possibilita estimar as futuras interações entre os nutrientes, balanceando de forma adequada os macro e micronutrientes. As maiores correlações positivas bem como suas significâncias foram: K x N (0,953**); Zn x Mn (0,953**); S x K (0,938**); Zn x S (0,915**); Zn x Cu (0,910**); N x S (0,904**); Cu x N (0,850**) e Zn x K (0,850**). As maiores correlações negativas foram: B x Ca (-0,823**); Fe x P (-0,732**); Mg x K (-0,708**); P x N (-0,700**); P x Zn (-0,690**); Mg x S (-0,688**); Mn x P (-0,663**) e Cu x P (-0,658*).

A interação negativa entre Ca e B foi devido ao Ca em excesso promover a adsorção do B nos colóides do solo. O mesmo ocorre na interação negativa entre K e Mg, pois segundo Castro e Meneghelli (1989) e estes nutrientes são antagonísticos.

Tabela 4. Matriz de correlação entre os nutrientes, através do índice DRIS utilizando todos os tratamentos.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
N	1,000	-0,700	0,953	-0,127	-0,536	0,904	0,036	0,850	0,835	0,658	0,840
P		1,000	-0,601	-0,230	0,155	-0,500	0,026	-0,658	-0,732	-0,663	-0,690
K			1,000	-0,360	-0,708	0,938	0,241	0,810	0,820	0,678	0,850
Ca				1,000	0,789	-0,475	-0,823	-0,350	-0,081	-0,445	-0,433
Mg					1,000	-0,688	-0,493	-0,619	-0,634	-0,508	-0,603
S						1,000	0,402	0,842	0,671	0,783	0,915
B							1,000	0,237	-0,089	0,621	0,494
Cu								1,000	0,720	0,815	0,910
Fe									1,000	0,506	0,649
Mn										1,000	0,953
Zn											1,000

R > 0,55 significativo a 5%; R > 0,68 significativo a 1%.

A interação P x Fe ocorre tanto no metabolismo da planta (Malvi, 2011) quanto no solo (Bataglia, 1991); no presente trabalho, obteve-se interação negativa entre estes nutrientes. A interação entre Fe x Mn é bastante comum nos solos brasileiros (Bataglia, 1991); neste experimento ocorreu interação positiva entre estes nutrientes. A interação negativa entre P e Mg, também foi observada na cultura da cevada por Pedas *et al.* (2011).

Ao determinar os índices de suficiência dos nutrientes entre os índices DRIS (Tabela 5), observou-se a ocorrência de pouca variação entre a primeira e segunda aproximação, isto devido às altas correlações observadas.

Entretanto, verificou-se que todos os elementos apresentaram alta correlação entre suas concentrações e índice DRIS destes, sugerindo que o balanço nutricional de cada elemento está interligado com os outros na planta.

Os valores do Índice de Balanço Nutricional (IBN), obtidos pela soma em módulo dos índices DRIS de cada tratamento, variaram de 213 a 929 (dados não apresentados), mostrando a existência do desequilíbrio nutricional entre os diferentes tratamentos, contudo na Figura 2, foi observada a falta de correlação entre as produtividades e o IBN, mostrando que se deve ter cautela quando se utiliza este índice como critério para estimar resposta à adubação.

Tabela 5. Níveis de suficiência e correlações entre os teores foliares e os índices DRIS dos nutrientes.

Nutriente	1ª aproximação	R ²	2ª aproximação
N (g.kg ⁻¹)	31,89	0,77	32,18
P (g.kg ⁻¹)	2,60	0,80	2,59
K (g.kg ⁻¹)	14,63	0,86	14,70
Ca (g.kg ⁻¹)	7,54	0,83	7,77
Mg (g.kg ⁻¹)	2,35	0,74	2,34
S (g.kg ⁻¹)	4,14	0,86	4,17
B (mg.kg ⁻¹)	24,36	0,80	24,40
Cu (mg.kg ⁻¹)	11,37	0,71	11,21
Fe (mg.kg ⁻¹)	92,70	0,99	91,83
Mn (mg.kg ⁻¹)	61,11	0,94	61,27
Zn (mg.kg ⁻¹)	37,20	0,91	37,02

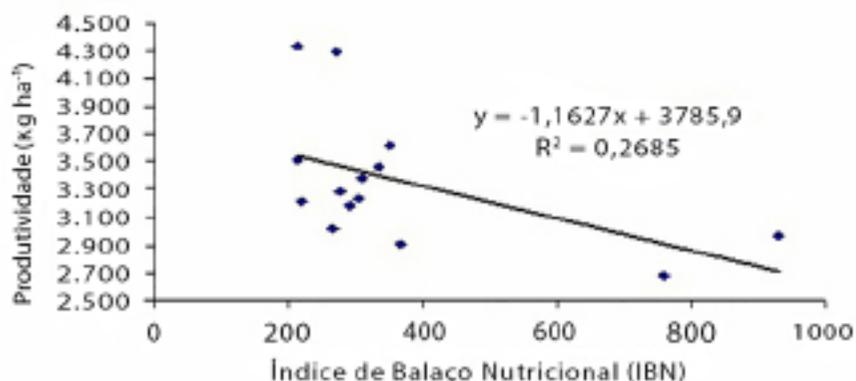


Figura 2. Produtividade de grãos de cevada, em kg.ha⁻¹, dos 14 tratamentos em função do Índice de Balanço Nutricional (IBN).

CONCLUSÕES

A avaliação do estado nutricional da cultura, obtida por meio da análise foliar, apresentou concordância entres os níveis tabelados e o DRIS. É recomendado que se faça a diagnose nutricional da cultura no perfilhamento, para que se tenha tempo para possíveis correções na adubação.

Os nutrientes com maior probabilidade de resposta à adubação são, tendo como base a análise foliar: B (28,6%) > K (21,5%) > Mn=Ca=P (14,3%) > Mg (7,2%).

O Índice de Balanço Nutricional (IBN) não apresentou correlação significativa com a produtividade.

REFERÊNCIAS

- Amabile, R. F., F. G. Faleiro, E. A. Vieira, J. R. Peixoto, F. Capettini and W. Q. Ribeiro Júnior. 2013. Genetic diversity of irrigated barley based on molecular and quantitative data and on malting quality. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 48(7):748-756.
- Amabile, R. F., E. Minella, C. Ciulla, F. H. Carvalho e C. Iora. 2002. Avaliação da safra de cevada cervejeira no Cerrado em 2001. XXII reunião anual de pesquisa de cevada. Anais e Ata. Passo Fundo, Rio Grande del Sur, Brasil. pp. 79-83.
- Amabile, R. F., E. Minella, M. de O. Oliveira y V. Fronza. 2007. Cevada (*Hordeum vulgare* L.). In: Paula Júnior, T.J. de y M. Venzon (Ed.). 101 culturas: manual de tecnologías agrícolas. Belo Horizonte: Epamig. pp. 263-268.
- Arboleda, C. V., J. P. Arcila y R. B. Martínez. 1988. Sistema integrado de recomendación y diagnosis: una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar en café. *Agronomía Colombiana*. 5(1):17-30.
- Bailey, J. S., J. A. M. Beattie and D. J. Kilpatrick. 1997. The diagnosis y recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards: I. Model establishment. *Plant and Soil*. 197(1):127-135.
- Bataglia, O. C. 1991. Ferro. In: Ferreira, M. E. e M. C. P. da Cruz. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba. Potafos. pp. 159-172.
- Beaufils, E. R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). A general scheme for experimentation y calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science Bulletin*, Pietermararitzburg: University of Natal. 132 p.
- Beaufils, E. R. 1971. Physiological diagnosis, a guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *The Fertilizer Society of South Africa Journal*. (1):1-30.
- Castro, A. F. e N. A. Meneghelli. 1989. As relações $K^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})^{1/2}$ e $K^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ no solo e as respostas a adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. 24(6):751-760.
- Chacón-Pardo, E., J. H. Camacho-Tamayo and O. Arguello. 2013. Establishment of DRIS norms for the nutritional diagnosis of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) clone RRIM 600 on the Eastern Plains of Colombia. *Agronomía Colombiana*. 31:215-222.
- Claassen, N. and G. E. Wilcox. 1974. Comparative reduction of calcium and magnesium composition of corn tissue by NH_4-N and K fertilization. *Agronomía Journal*. 66:521-522.
- Costa, A. N. 1999. Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, São Paulo, Brasil. 24(1):13-15.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1999. Manual de análise químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Solos. Embrapa Informática Agropecuária. Brasília, Distrito Federal, Brasil. 370 p.
- Escano, C. R., C. A. Jones and G. Uehara. 1981. Nutrient diagnosis in corn on Hydric Dystryepts: II. Comparison of two systems

- of tissue diagnosis. Soil Science Society of America Journal. 45(6):1140-1144.
- Fernández, A. T. y R. J. Laird. 1978. Rama de suelos. La matriz experimental Plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos 3ª ed., Rev. Agric. 19, México. 28 p.
- Gransee, A. and H. Fühns. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant and Soil. 368:5-21.
- Hafez, B., Y. M. Khanif and M. Salem. 2013. Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. American Journal of Experimental Agriculture. 3:374-391.
- Kaiser, D. E., J. J. Wiersma and J. A. Anderson. 2014. Genotype and environment variation in elemental composition of spring wheat flag leaves. American Journal of Plant Sciences. 4:497-507.
- Landriscini, M. R., M. A. Lázari y J. A. Galantini. 2010. Fertilización nitrogenada y balance de nutrientes en cebada cervecera. Ciencia del Suelo. 28:201-214.
- Locascio, S. J., J. A. Bartz and D. D. Weigartner. 1992. Calcium and potassium fertilization of potato grown in North Florida I. Effects on potato yield and tissue Ca and K concentration. American Potato Journal. 69(2):95-104.
- Malavolta, E. 1997. Nutrição Mineral das Plantas. **In:** Curso de Atualização em Fertilidade do Solo. Fundação Cargill. Campinas, São Paulo, Brasil. pp. 33-101.
- Malavolta, E., G. C. Vitti e S. A. Oliveira. 1998. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba, São Paulo, Brasil. Potafos. 201 p.
- Malvi, U. R. 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. Karn, The Journal of Agricultural Science. 24:106-109.
- Minella, E. 2003. Indicações técnicas para produção de cevada cervejeira: safras 2003 e 2004. XVIII reunião anual de pesquisa de cevada. Anais e Ata. Passo Fundo, Rio Grande del Sur, Brasil. 32 p.
- Modesto, V. C., S. Parent, W. Natale and L. E. Parent. 2014. Foliar nutrient balance standards for maize (*Zea mays* L.) at high-yield level. American Journal of Plant Sciences. 5:497-507.
- Mourão Filho, F. A. A., J. C. Azevedo e J. A. Nick. 2002. Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranja 'Valência'. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 37:185-192.
- Oliveira, S. A. de. 2004. Análise Foliar. **In:** Souza, D. M. G., Lobato, E. (Eds). Cerrado correção do solo e adubação. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brasil. pp. 245-256.
- Oliveira, S. A. de e D. M. G. Souza. 1993. Uso do DRIS modificado na interpretação de análise de solo para a soja no leste de Mato Grosso. Cerrados: Fronteira agrícola no século XXI. **In:** XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Vol. II. Goiânia, GO, Brasil. pp. 83-84.
- Olsen, S. R. 1972. Micronutrients Interactions. **In:** J. J. Mortvedt, P. M. Giordano and W. L. Lindsay (Eds.). Micronutrients in agriculture. Soil Science Society of America Monograph. Madison (Wisconsin), United State of America. pp. 243-288.
- Pedas, P., S. Husted, K. Skytte and J. K. Schjoerring. 2011. Elevated phosphorus impedes manganese acquisition by barley plants. Frontiers in Plant Science. 2(37):1-12.
- Rhue, R. D., D. R. Hensel and G. Kidder. 1986. Effect of K fertilization on yield and leaf nutrient concentrations of potatoes grown on a sandy soil. American Potato Journal. 63:665-681.
- Santos, E. F. dos, R. M. A. Donha, C. M. M. de Araújo, J. Lavres Junior e M. A. Camacho. 2013. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos ChM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 37:1651-1658.

- Serra, A. P., M. E. Marchetti, S. C. Ensinas, H. S. de Moraes, V. do A. Conrad, F. C. N. Guimarães and G. P. de O. Barbosa. 2014. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) to assess the nutritional state of cotton crop in Brazil. *American Journal of Plant Sciences*. 5:508-516.
- Serra, A. P., M. E. Marchetti, E. P. Rojas and A. C. T. Vitorino. 2012. Beauflis ranges to assess the cotton nutrient status in the southern region of Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36(1):171-182.
- Singh, N. P., R. P. Awasthi and A. Sud. 2000. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms for apple (*Malus x Domestica* Borkh. L. CV. Starking Delicious) in Himachal Pradesh, *Indian Journal of Horticulture*. 53(3):196-204.
- Sumner, M. E. 1977. Preliminary NPK foliar diagnostic norm for wheat. *Comm. Soil Science Plant Analysis, New York, United State of America*. 8(2):149-167.
- Wadt, P. G. S., J. R. M. Dias, D. V. Pérez e C. O. Lemos. 2012. Interpretação de índices DRIS para a cultura do cupuaçu. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 36:125-135.
- Walworth, J. L. y M. E. Summer. 1987. The diagnosis y recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Science*. 6:149-188.