

Renata M. Leal¹Renato de M. Prado²

Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito da omissão de macronutrientes, de boro e de zinco no crescimento, na produção de matéria seca, nos sintomas visuais e no estado nutricional do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivar Carioca, conduziu-se um experimento em solução nutritiva aerada, em casa de vegetação da UNESP, Campus de Jaboticabal, São Paulo, nas coordenadas de 21° 15' 22" Sul e 48° 18' 58" Oeste. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com nove tratamentos, que corresponderam à solução completa (macro e micronutrientes) e à omissão individual de N, P, K, Ca, S, Mg, B e Zn, em duas repetições. Avaliaram-se, após trinta dias de aplicação dos tratamentos, a altura das plantas, o número de folhas, o diâmetro do caule, a área foliar e a matéria seca, além do teor foliar de macro e micronutrientes. As omissões individuais de N, P, K e Ca, foram as mais limitantes para o crescimento vegetativo do feijoeiro, resultando em alterações morfológicas que se traduziram em sintomas visuais característicos da deficiência nutricional de cada elemento. Os nutrientes Mg, B e Zn, omitidos individualmente da solução nutritiva, não foram limitantes para o crescimento vegetativo da planta até o 30º dia de cultivo.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, matéria seca, nutrientes, sintomas visuais

Nutritional disorder in bean crop as related to macronutrients, boron and zinc

ABSTRACT

This study was carried out in aerated nutritive solution under greenhouse conditions, in Jaboticabal, São Paulo State (21° 15' 22" South and 48° 18' 58" West) aiming to evaluate the effect of the omission of macronutrients, boron and zinc on plant growth, production of dry matter, visual symptoms and nutritional status in common bean (*Phaseolus vulgaris*). The experiment was arranged in completely randomized design with nine treatments corresponding to the complete solution (control) and individual omission of N, P, K, Ca, S, Mg, B and Zn, with two replications. After thirty days of treatments, plant height, number of leaves, stem diameter, leaf area, leaf dry matter and leaf levels of macro and micronutrients were measured. The individual omissions of N, P, K and Ca were more limiting to plant growth variables and production of dry matter and resulted in morphological alterations observed by the intrinsic visual symptoms of each element. The individual omission of the nutrients Mg, B and Zn in the nutrient solution were not limiting to plant growth up to 30 days of cultivation.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, dry matter, nutrients, visual symptoms

¹ Pós-Graduada em Agronomia (Produção Vegetal), Departamento de Ciências Exatas, FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal. Via de Acesso Paulo Donato Castellane s/n. 14884-900, Jaboticabal-SP. renatamleal@yahoo.com.br

² Prof. Dr. Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal

INTRODUÇÃO

Nacionalmente, o feijão se destaca como importante fonte de proteínas na dieta alimentar, sendo um dos alimentos mais consumidos. Na safra de 2006/07 o Brasil produziu cerca de 3.336.100 toneladas de feijão, sendo o Paraná (795000 t), Minas Gerais (503000 t), Bahia (322000 t) e São Paulo (314000 t) os principais estados produtores (Agriannual, 2008).

Um dos fatores mais significativos para explicar o baixo rendimento do feijoeiro é a baixa fertilidade dos solos tropicais, limitando a nutrição da planta; assim, o feijoeiro é considerado planta exigente em nutrientes, em razão do seu sistema radicular pequeno e pouco profundo e, também, ao seu ciclo curto, sendo o nitrogênio e o potássio os nutrientes mais absorvidos e exportados seguidos, em termos de absorção, de cálcio, magnésio, enxofre e fósforo (Bulisani, 1987).

Quando o solo não atende às exigências nutricionais das plantas, tem-se o início de alterações no metabolismo da planta, causado pela falta de nutrientes, promovendo desordem nutricional a nível do tecido, caracterizado pelos sintomas visuais.

Os sintomas de deficiência ou excesso de um elemento mineral têm semelhança em todas as espécies de plantas (Meyer et al., 1983). O motivo pelo qual o sintoma de carência do elemento é característico se deve ao fato de que ele exerce sempre a mesma função, qualquer que seja o vegetal (Vose, 1963); entretanto, existem respostas peculiares entre e dentro das espécies, como resultado da expressão genética, influenciando a distribuição dos elementos ou a sensibilidade de sistemas metabólicos.

Na literatura são escassos os trabalhos integrados que observam os efeitos da omissão de nutrientes na nutrição, sintomatologia e produção de matéria seca de feijoeiro, ficando evidente a necessidade de execução de mais estudos sobre o assunto.

No presente trabalho propôs-se avaliar as omissões de macronutrientes, boro e zinco sobre o crescimento, a produção de matéria seca, os sintomas visuais e o estado nutricional do feijoeiro var. Carioca.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em condições de casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP, campus de Jaboticabal, SP, nas coordenadas de 21°15'22" Sul, 48°18'58" Oeste e altitude de 595 m, clima mesotérmico com inverno seco, ou seja, tipo Cwa, conforme a classificação Köppen. No período experimental os dados meteorológicos mensais foram: pressão atmosférica = 945 hPa, temperatura máxima = 29,1°C; temperatura mínima = 16,5°C; temperatura média = 21,9°C; umidade relativa = 70,5%, insolação = 203,7 horas e precipitação = 58,2 mm (Estação meteorológica da FCAV).

Utilizou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), cultivar Carioca como planta teste: inicialmente, realizou-se a semeadura em bandejas plásticas com vermiculita, nas quais as plântulas foram mantidas durante duas semanas, utilizando-se uma solução diluída (25%) de Hoagland & Arnon (1950). Decorri-

da esta fase, as plântulas foram selecionadas de acordo com a uniformidade e transplantadas, sendo uma para cada vaso (2,5 L), aplicando-se as soluções nutritivas, isto é, as soluções completas e com ausência de N, P, K, Ca, S, Mg, B e Zn (Tabela 1). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com nove tratamentos e duas repetições.

Tabela 1. Composição química da solução nutritiva (mL vaso⁻¹) de Hoagland & Arnon (1950), correspondente aos tratamentos utilizados no experimento

Table 1. Chemical composition of the nutritive solution (mL vase⁻¹) of Hoagland & Arnon (1950), used in the experiment

Soluções estoques	Tratamentos*								
	Completo	- N	- P	- K	- Ca	- Mg	- S	- B	- Zn
K ₂ HPO ₄	2,5	2,5	-	-	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
KNO ₃	12,5	-	12,5	-	12,5	7,5	7,5	12,5	12,5
Ca (NO ₃) ₂ ·5H ₂ O	12,5	-	12,5	12,5	-	10,0	10,0	12,5	12,5
MgSO ₄ ·7H ₂ O	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-	-	5,0	5,0
KCl	-	12,5	2,5	-	-	5	5,0	-	-
CaCl ₂ ·2H ₂ O	-	5,0	-	-	-	2,5	2,5	-	-
NH ₄ H ₂ PO ₄	-	-	-	2,5	-	-	-	-	-
NH ₄ NO ₃	-	-	-	5,0	12,5	-	-	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	-	-	-	-	-	5,0	-	-	-
MgNO ₃	-	-	-	-	-	-	5,0	-	-
Micronutrientes	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	-	-
Micros - B	-	-	-	-	-	-	-	2,5	-
Micros - Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5
Fe EDTA	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

* O sinal "-" indica a omissão do respectivo nutriente na composição da solução nutritiva

Após a aplicação dos tratamentos as plantas de feijão foram cultivadas em solução nutritiva, durante trinta dias. As soluções nutritivas foram trocadas semanalmente e aeradas de forma contínua, completando-se, diariamente, o nível da solução no vaso com água destilada e se ajustando o valor pH entre 5,0 e 6,0 com HCl 0,1N ou NaOH 1N.

A água utilizada no experimento apresentava as seguintes características químicas: pH = 8,1; condutividade elétrica = 0,1 dS.m⁻¹; alcalinidade total = 113,0 mg CaCO₃ L⁻¹; dureza total = 69,0 mg CaCO₃ L⁻¹; sulfatos = 1,0 mg SO₄²⁻ L⁻¹; N-NH₄⁺ = < 0,001 mg N L⁻¹; N-NO₃⁻ = 0,0013 mg N L⁻¹; Na = 21,0; K = 2,0; Ca = 26,5; Mg = 0,52; Zn = 0,002; Fe total = 0,005; Mn total = 0,003; Cu = 0,003, todos em mg L⁻¹.

Avaliaram-se, após trinta dias da aplicação dos tratamentos, o diâmetro do caule (5 cm do colo), o número de folhas por planta, a altura da planta, a área foliar e a produção de matéria seca (raízes, caule e folhas); outrossim, coletaram-se todas as folhas da parte aérea da planta para a análise química e determinação dos teores de macronutrientes, boro e zinco, conforme metodologia de Bataglia et al. (1983).

Os resultados foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando-se, para o processamento dos dados, o programa estatístico ESTAT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis vegetativas de crescimento, como número de folhas, altura das plantas, diâmetro do caule e área foliar, e produção de matéria seca das folhas, do caule e das raízes,

além dos teores de nutrientes nas folhas do feijoeiro, estão discutidas, de acordo com a omissão de cada nutriente.

Nitrogênio

A omissão de nitrogênio reduziu significativamente o desenvolvimento das plantas, afetando o número de folhas, a altura da planta, o diâmetro do caule e a área foliar (Tabela 2), induzindo alterações morfológicas com sintomas característicos da deficiência de N, razão porque ocorreu diminuição da produção de matéria seca das folhas (97%), do caule (96%) e raízes (98%) em relação ao tratamento completo (Tabela 3). Bordin et al. (2003) avaliaram o efeito da aplicação de doses crescentes de N (0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹ de N) em feijoeiro e verificaram que as maiores doses de N proporcionaram as melhores respostas do feijoeiro. Por outro lado, Jasmim et al. (2002) constataram que a omissão de N diminuiu pela metade a produção de massa seca das plantas de feijoeiro cultivadas em vasos.

Tabela 2. Resultados médios das variáveis de crescimento das plântulas de feijão, após trinta dias da aplicação dos tratamentos em solução nutritiva, em função da omissão individual de algum nutriente

Table 2. Mean results of growth variables in common bean, after thirty days of treatment application of nutrient solution, in relation to individual omission of some nutrient

Tratamento	Número de Folhas	Altura das Plantas (cm)	Diâmetro do Caule (mm)	Área Foliar (cm ²)
Completo	47	97,5	6,6	3353
Omissão de N	6*	21,7*	3,8*	73*
Omissão de P	6*	23,2*	4,5*	225*
Omissão de K	18*	39,5*	4,0*	1820*
Omissão de Ca	12*	40,0*	5,0	678*
Omissão de S	43	47,5*	6,0	3239
Omissão de Mg	42	93,3	6,5	2042
Omissão de B	19*	60,0*	6,0	2962
Omissão de Zn	44	60,0*	5,4	2611
CV (%)	15,2	16,0	8,1	18,4

* valores médios que diferem significativamente do tratamento solução completa (teste de Tukey a 5% de probabilidade)

Tabela 3. Resultados médios da produção de matéria seca das plântulas de feijão após trinta dias da aplicação dos tratamentos em solução nutritiva, em função da omissão individual de cada nutriente

Table 3. Average results of dry matter production in common beans, after thirty days from application of the treatments of nutrient solution, in relation to the individual omission of each nutrient

Tratamento	Matéria Seca (g)			
	Folhas	Caule	Raízes	Total
Completo	11,9	6,1	1,7	19,7
Omissão de N	0,3*	0,2*	0,02*	0,45*
Omissão de P	0,8*	0,3*	0,2*	1,4*
Omissão de K	4,9*	0,2*	0,7*	6,7*
Omissão de Ca	2,1*	1,2*	0,5*	3,7*
Omissão de S	10,3	5,9	1,6	24,8
Omissão de Mg	5,9*	2,8*	0,8	9,6*
Omissão de B	11,7	2,6*	1,4	15,7*
Omissão de Zn	8,5	3,7*	0,7	12,9*
CV (%)	17,0	18,3	20,4	6,7

* valores médios que diferem significativamente do tratamento solução completa (teste de Tukey a 5% de probabilidade)

Os sintomas de deficiência do elemento surgiram no início do desenvolvimento das plantas (aos 10 dias após a aplicação dos tratamentos), caracterizando-se por necrose nas folhas mais velhas, diminuindo a emergência dos pontos de crescimento de ramificação das plantas e queda prematura das folhas. Esses resultados confirmam que o nitrogênio é um nutriente muito importante para a cultura e que, na sua ausência, o processo de desenvolvimento e o crescimento das plantas são afetados. Na literatura, a relevância do nitrogênio para o feijoeiro é relatada pelo fato de que é o elemento mais absorvido pela cultura (Haag et al., 1967); desta forma, quando o teor de N na planta apresenta um valor muito baixo se desenvolvem sintomas visuais de deficiência, conforme já descrito. No presente estado não foi possível determinar o teor de N foliar, visto que, a matéria seca produzida foi insuficiente para a análise química.

Fósforo

Os atributos que indicam o crescimento vegetativo do feijoeiro foram significativamente afetados pela omissão de fósforo; ocorreu diminuição do número de folhas, da altura da planta, do diâmetro de caule e da área foliar em relação ao tratamento completo (Tabela 2), resultando em diminuição da produção de matéria seca de folhas (93%), caule (95%) e raízes (88%), quando comparados com o tratamento completo (Tabela 3). Dynia & Cunha (1986), trabalhando com solo Brunizem Avermelhado em vasos cultivado com feijoeiro, observaram que a produção de matéria seca do tratamento com baixa concentração de P foi inferior em 36% àquela obtida no tratamento testemunha; este evento ocorre porque as limitações da disponibilidade de fósforo no início do ciclo vegetativo promovem as maiores restrições no desenvolvimento (Grant et al., 2001). Pastorini et al. (2000) estudando o crescimento inicial do feijoeiro cv. Ouro Negro em solução nutritiva com doses de P (35, 70 e 210 mmol m⁻³), observaram que a maior produção de matéria seca de folhas, caule e raízes, foi obtida com a maior dose aplicada (210 mmol m⁻³). Sintomas visuais de deficiência de P foram observados no início do desenvolvimento das plantas (aos 10 dias após a aplicação dos tratamentos), apresentando um estreito ângulo de inserção das folhas e clorose nas folhas mais velhas. As plantas que receberam o tratamento completo mostraram teor foliar de P de 3,9 g kg⁻¹; na omissão do elemento o teor foliar de fósforo foi de 1,2 g kg⁻¹, o que refletiu no aparecimento de sintomas visuais, como mencionado anteriormente. Malavolta et al. (1997) relataram que o teor adequado do elemento nas folhas é de 2 a 3 g kg⁻¹ e, para Silva et al. (2001) o nível crítico de fósforo em feijoeiro (cv. Carioca) é de 3,9 g kg⁻¹; pode-se observar que o teor de P obtido no presente estudo está dentro dos valores sugeridos pelos autores.

Potássio

O potássio, seguido do fósforo e do nitrogênio, foi o elemento que mais afetou os parâmetros vegetativos de crescimento do feijoeiro (Tabela 2), e a produção de matéria seca das plantas, em relação ao tratamento completo (Tabela 3). Silveira & Damasceno (1993) observaram aumento na produção da matéria seca do feijoeiro (cv. Carioca) quando da aplica-

ção de doses crescentes do elemento (zero até 120 kg ha⁻¹). O sintoma de deficiência de K observado nas plantas do presente trabalho, foi o amarelecimento das bordas das folhas com tamanho reduzido, internódio menor em relação à testemunha e clorose nas folhas mais velhas, notados no início do desenvolvimento das plantas (aos 10 dias após a aplicação dos tratamentos). Segundo Epstein (1975), nas plantas deficientes em potássio os compostos nitrogenados solúveis muitas vezes se acumulam, sendo que este acúmulo responsável, provavelmente, pelas manchas necróticas que aparecem nas folhas deficientes desse nutriente. Verifica-se, na Tabela 4, que as plantas deficientes em potássio apresentaram redução significativa no teor foliar do elemento quando comparadas àquelas do tratamento completo cujo teor foi igual a 31,8 g kg⁻¹; este valor está acima da faixa sugerida por Raij et al. (1996), que é de 20-24 g kg⁻¹, coletando-se a 3ª folha no período de florescimento para análise química e, por Malavolta et al. (1989), em que o valor sugerido (20 a 25 g kg⁻¹) foi determinado coletando-se a 1ª folha amadurecida a partir da ponta do ramo da planta. As diferenças entre o teor obtido no presente estudo e os sugeridos pelos autores podem ser justificadas com base na época de coleta das folhas, e do tipo de folha diagnóstica amostrada.

Tabela 4. Teores de macronutrientes, de boro e de zinco nas folhas do feijoeiro, após trinta dias da aplicação dos tratamentos, em função da omissão individual de algum nutriente

Table 4. Concentration of macronutrients, boron and zinc in the leaves of common bean, after thirty days of application of the treatments of nutrient solution, in relation to the individual omission of some nutrient

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn
	(g kg ⁻¹)							(mg kg ⁻¹)
Completo	36,1	3,9	31,8	27,1	4,6	2,4	73	26
Omissão de P	50,2*	1,2*	32,5	21,3*	6,1	4,1*	114*	58*
Omissão de K	51,3*	7,3	9,5*	35,4*	9,4*	3,7*	62	50*
Omissão de Ca	41,7	6,1	49,1	3,1*	9,0*	3,5*	99*	79*
Omissão de Mg	44,8*	6,0	37,1	27,6	1,3*	4,2*	86	61*
Omissão de S	38,6	4,5	30,6	24,9	5,3	2,2	76	31
Omissão de B	38,0	4,9	34,7	29,4	4,7	2,6	38*	25
Omissão de Zn	41,7	8,0*	38,5	33,6*	5,7	2,8	64	15
C.V. (%)	5,0	11,4	16,3	3,3	8,4	6,3	6,8	10,1

* valores médios que diferem significativamente do tratamento solução completa (teste de Tukey a 5% de probabilidade)

Cálcio

As plantas que receberam o tratamento com a omissão de cálcio apresentaram diminuição no número de folhas, na altura da planta e na área foliar, em relação ao tratamento completo (Tabela 2), o que refletiu também na diminuição da produção de matéria seca das folhas, raiz e caule, quando comparado com o tratamento completo (Tabela 3). Malavolta et al. (1980) conduziram um experimento com feijoeiro cv. Carioca, em solução nutritiva, a fim de avaliar os efeitos da deficiência de cálcio nas plantas; os autores verificaram que, com a omissão do elemento, o número de folhas, a altura das plantas e a produção de matéria seca diminuíram de forma significativa em relação ao tratamento completo. Os sintomas de deficiência do elemento no presente trabalho, foram observados no início do desenvolvimento das plantas de feijão

(aos 12 dias após a aplicação dos tratamentos). As plantas apresentaram folhas com textura modificada, pontos de crescimento bifurcado, além de clorose. Plantas que receberam o tratamento completo mostraram teor foliar de cálcio de 27,1 g kg⁻¹, valor este superior ao sugerido por Raij et al. (1996), que é de 10-25 g kg⁻¹, determinado em folhas amostradas no período do florescimento, e por Malavolta et al. (1989) que é de 20-25 g kg⁻¹ determinado na primeira folha amadurecida a partir da ponta do ramo. A diferença entre o teor obtido e os sugeridos é justificada pela folha diagnose utilizada para a análise química, além do período de amostragem dessas folhas; já as plantas que receberam o tratamento com omissão do elemento apresentaram teor foliar de 3,1 g kg⁻¹ o que resultou em sintomas visuais de deficiências de Ca, como já mencionados (Tabela 4). No tratamento com omissão de potássio, observou-se aumento do teor de cálcio nas folhas em relação ao tratamento completo (Tabela 4), fato este conhecido pela interação entre esses nutrientes, em virtude da competição entre esses elementos, na absorção (Malavolta et al., 1997).

Magnésio

A omissão de magnésio não afetou os parâmetros vegetativos de crescimento do feijoeiro (Tabela 2), porém a produção de matéria seca das folhas e caule diminuiu com a omissão do elemento, em relação ao tratamento completo (Tabela 3). Estudos realizados por Malavolta et al. (1980) com a cv. Carioca, demonstraram que com a omissão de magnésio da solução nutritiva houve diminuição da produção de matéria seca das folhas, caule e raízes. Boaro et al. (1996) avaliaram o efeito da aplicação de magnésio na altura, número de folhas e área foliar do feijoeiro (cv. Carioca) durante 81 dias após a semeadura e notaram aumento dos parâmetros de crescimento do feijoeiro em função da aplicação de doses crescentes do elemento variando de 2,4 até 24,3 ppm de Mg. Diferentemente do N, P, K e Ca, o sintoma de deficiência de magnésio não só foi observado no final do período de condução experimental (após 23 dias da aplicação dos tratamentos), como foi caracterizado pela má formação das folhas (bordas irregulares) e clorose internerval. Os sintomas visuais de deficiência de magnésio observados no presente estudo foram os mesmos sintomas sugeridos por Malavolta et al. (1989). O teor do elemento obtido nas folhas do tratamento completo (4,6 g kg⁻¹) está dentro da faixa considerada adequada para a cultura, conforme Raij et al. (1996), que varia de 2,5-5,0 g kg⁻¹ (amostrando folhas no período de florescimento) e por Malavolta et al. (1989), que varia de 4,0-7,0 g kg⁻¹ (amostrando a primeira folha amadurecida a partir da ponta do ramo), apesar da diferença quanto à época de amostragem e pelo tipo de folha amostrada no presente trabalho (Tabela 4). Com a omissão do elemento, o teor foliar encontrado foi de 1,3 g kg⁻¹, o que resultou em sintomas visuais de deficiência; também na presença do tratamento com a omissão de potássio, observou-se aumento do teor de Mg nas folhas em relação ao tratamento completo (Tabela 4), fato este decorrente da interação antagonica entre esses nutrientes.

Enxofre

Não ocorreu efeito significativo da omissão de enxofre no número de folhas, no diâmetro do caule nem na área foliar, em relação ao tratamento completo, com exceção da altura das plantas (Tabela 2); deste modo, tal omissão não teve reflexos na produção de matéria seca das diferentes partes do feijoeiro (Tabela 3); entretanto, Dynia & Cunha (1986) observaram diminuição da produção de massa seca de plantas que receberam baixas doses do nutriente; também, não se constataram sintomas visuais de deficiência do elemento durante o período da experimentação. Furtini Neto et al. (2000) avaliaram o efeito da aplicação de doses de S (zero até 120 mg kg⁻¹), no crescimento de três cultivares de feijoeiro (Carioca, Ouro e H-4.). As cultivares de feijoeiro apresentaram respostas significativas na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) quando se aplicou S porém, com incrementos distintos em cada cultivar. Com exceção da cultivar H-4, o fornecimento de S também estimulou a produção de matéria seca de raízes. Os níveis de enxofre nas folhas das cultivares Carioca, Ouro e H-4, variaram de 1,9 até 2,2 g kg⁻¹. Verifica-se que não houve diferença significativa no teor de enxofre do tratamento completo (2,4 g kg⁻¹) com o do tratamento com omissão do elemento (2,2 g kg⁻¹), o que explica a ausência de sintomatologia nas plantas (Tabela 4). Jasmim et al. (2002) observaram que a omissão do enxofre diminuiu o teor do nutriente na planta (2,0 g kg⁻¹) em relação ao tratamento completo (2,3 g kg⁻¹); apesar disso, os autores não verificaram aparecimento de sintomas visuais. Os valores do teor de enxofre obtidos no trabalho estão dentro da faixa adequada sugerida por Raij et al., (1996) que é de 2,0-3,0 g kg⁻¹, e acima da sugerida por Malavolta et al. (1989) que é 1 g kg⁻¹. É pertinente salientar que este resultado pode estar relacionado, provavelmente, à absorção de enxofre contido na água pelo feijoeiro, já que a mesma apresenta cerca de 1,0 mg. L⁻¹ de SO₄²⁻ ou mesmo a absorção prévia do mesmo, antes de ser submetido a solução deficiente.

Boro

A omissão de boro na solução nutritiva provocou redução significativa no número de folhas, na altura das plantas (Tabela 2) e na produção de matéria seca do caule em relação ao tratamento completo, o que refletiu na diminuição da produção de matéria seca total (Tabela 3). Segundo Moraes Dallacqua et al. (1998) a deficiência de boro provoca a inibição do crescimento radicular, ocorre a ausência ou anormalidade na diferenciação vascular, principalmente do floema, além de necrose do ápice radicular. Apesar de alguns parâmetros vegetativos de crescimento terem sido diminuídos na omissão de S em relação ao tratamento completo não foram observados, durante o período experimental, sintomas visuais de deficiência. Fageria (2000) avaliou o efeito da aplicação de doses de boro (zero até 12 mg kg⁻¹ de B) em plantas de feijão e verificou que a maior quantidade de matéria seca foi obtida na dose de 2 mg kg⁻¹ B. Houve diminuição significativa do teor de S daquelas plantas que receberam o tratamento com omissão de S em relação às do tratamento completo, cujo teor foliar foi de 38 e 76 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 4); ape-

sar disso, ambos os valores dos diferentes tratamentos são superiores ao sugerido por Raij et al. (1996), que varia de 15-26 mg kg⁻¹, amostrando folhas no período do florescimento. A diferença entre esses teores é justificada pelo período de amostragem da folha diagnose, além do tipo de folha amostrada.

Zinco

A omissão de zinco ocasionou efeitos depressivos na altura das plantas (Tabela 2) e na produção de massa seca de caule, em relação ao tratamento completo (Tabela 3). O efeito da deficiência de Zn é mais evidente na altura das plantas devido ao efeito do nutriente na nutrição pois, segundo Malavolta et al. (1997) ele está envolvido na síntese de auxina, que estimula o desenvolvimento e alongamento das partes jovens das plantas. Como o nível de deficiência de Zn não alterou outros órgãos das plantas, como número de folhas, diâmetro do caule, área foliar (Tabela 2), além da matéria seca de folhas e de raiz (Tabela 3), não se observaram sintomas característicos de deficiência do elemento, como a clorose e/ou necrose no limbo foliar. Fageria (2000) avaliou o efeito de doses crescentes de zinco (zero até 120 mg kg⁻¹ de Zn) sobre a produção de matéria seca de feijoeiro cultivado até os 35 dias após o plantio e não verificou efeito significativo da aplicação das doses de zinco na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, sendo o nível adequado de zinco no solo para o feijoeiro igual a 1 mg kg⁻¹; entretanto, Fageria et al. (1997) encontraram resposta positiva à aplicação de 5 mg kg⁻¹ de Zn para o feijoeiro em solos de cerrado. O tratamento completo apresentou teor de Zn nas folhas de 26 mg kg⁻¹, que está dentro da faixa adequada sugerida por Raij et al. (1996) que é de 18-50, e por Malavolta et al. (1989) que é de 20-100 mg kg⁻¹. Com a omissão do elemento, o teor de S nas folhas foi de 15 mg kg⁻¹, não diferindo de forma significativa do tratamento completo sendo por isso, talvez, que não se tenha observado sintomas visuais de deficiência do elemento durante o período da experimentação (Tabela 4).

CONCLUSÕES

Sob condições de casa de vegetação, as omissões individuais de N, P, K e Ca foram as mais limitantes para o crescimento vegetativo do feijoeiro resultando em alterações morfológicas, que se traduziram em sintomas visuais característicos da deficiência nutricional de cada elemento.

Os nutrientes Mg, B e Zn, omitidos individualmente da solução nutritiva, não foram limitantes para o crescimento vegetativo do feijoeiro até o 30º dia de cultivo.

LITERATURA CITADA

Agriannual - Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Agra FNP Pesquisas Ltda., 2008. 520 p.

- Bataglia, O. C.; Furlani, A. M. C.; Teixeira, J. P. F.; Furlani, P. R.; Gallo, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. Boletim Técnico, 78.
- Boaro, C. S. F.; Rodrigues, J. D.; Pedras, J. F.; Rodrigues, S.D.; Delachiave, M.E.; Mischan, M.M. Níveis de magnésio em solução nutritiva e o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca): Avaliação de parâmetros biométricos. Scientia Agrícola, v.53, n.2-3, p. 254-260, 1996.
- Bordin, L.; Farineli, R.; Penariol, F. G.; Fornasieri, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. Bragantia, v.62, n.3, p.417-428, 2003.
- Bulisani, E. A. Feijão: fatores de produção e qualidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987, 326p.
- Dynia, J. F.; Cunha, N. G. Limitações nutricionais do feijoeiro em solo Brunizem Avermelhado na região de Corumbá. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.21, n.11, p. 1219-1221, 1986.
- Epstein, E. Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975. 341 p. Estação Meteorológica da FCAV - www.exatas.fcav.unesp.br
- Fageria, N. K.; Baligar, V.C.; Jones, C.A. Growth and mineral nutrition of field crops. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1997, 656p.
- Fageria, N. K. Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solos de cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.57-62, 2000.
- Furtini Neto, A. E.; Fernandes, L. A.; Faquin, V.; Ivo, I. R. da; Accioly, A.M. de A. Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.3, p.567-573, 2000.
- Grant, C. A.; Flaten, D. N. Tomasiewicz, D. J. Sheppard, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Informações Agrônomicas: Piracicaba, n.95, p.1-5, 2001.
- Haag, H. P.; Malavolta, E. Gargantini, H.; Blanco, H. G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. Bragantia, v.26, n.30, p.380-391, 1967.
- Hoagland, D. R.; Arnon, J. P. The water culture method for growing plants without soils. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950, 347 p.
- Jasmim, J. M.; Monnerat, P. H. ; Rosa, R. C. C. Efeito da omissão de N, Ni, Mo, Co e S sobre os teores de N e S em feijoeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 4, p. 967-975, 2002.
- Malavolta, E. Elementos de nutrição das plantas. São Paulo; Ceres, 1980, 251 p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S. Avaliação do estado nutricional das plantas. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- Meyer, B., Anderson, D.; Bohning, R.; Fratiante, D. Introdução à fisiologia vegetal. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983. 710p.
- Moraes Dallaqua, M. A.; Beltrati, C. M.; Pedras, J. F. Alterações morfológicas no caule de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca) causadas por diferentes níveis de boro, na solução nutritiva. Revista de Agricultura: Cuiabá, v.73, p.183-200, 1998.
- Pastorini, L. H.; Bacarin, M. A.; Lopes, N. F.; Lima, M da E. de S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a doses de fósforo em solução nutritiva. Revista Ceres, v.47, n.270, p.219-228, 2000.
- Raij, B. van.; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285p.
- Silva, E. B. de; Resende, J. C. F. de; Cintra, W. B. R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. Ciência Rural, v.31, n.6, p.973-977, 2001.
- Silveira, P. M. da; Damasceno, M. A. Doses e parcelamento de K e N na cultura do feijoeiro irrigado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.28, n.11, p.1269-1276, 1993.
- Vose, P. B. Differences in plant nutrition. Herbage Abstracts, v.33, p.1-13, 1963.