

CRESCIMENTO E TEOR FOLIAR DE NUTRIENTES EM CAFEIEIRO DECORRENTE DA OMISSÃO ISOLADA E SIMULTÂNEA DE Ca, B, Cu e Zn

Roger Alexandre Nogueira Gontijo¹, Rubens José Guimarães², Janice Guedes de Carvalho³

(Recebido: 3 de outubro de 2007; aceito: 7 de agosto de 2008)

RESUMO: Conduzido em casa-de-vegetação, com o presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn no crescimento, na concentração foliar de nutrientes, bem como na manifestação de sintomas visuais de deficiência em plantas de café (*Coffea arabica* L.). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, sendo: solução nutritiva completa (HOAGLAND & ARNON, 1950), solução com omissão individual de B, Cu e Zn e omissão dupla simultânea de B e Ca, de B e Zn e de Cu e Zn. A omissão dos nutrientes na solução nutritiva promoveu redução de sua concentração nas folhas, independentemente de estar isolado ou associado a outro. Pela análise foliar, verificou-se que, nos tratamentos com omissão de nutrientes, independentemente do nutriente omitido, os teores médios de Ca (2,02 g/kg), B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) e Zn (3,15 mg/kg) foram sempre inferiores aos verificados nas plantas do tratamento completo e insuficientes para o crescimento das mudas. A ausência isolada ou simultânea comprometeu o desenvolvimento das plantas, levando a modificações morfológicas com sintomas característicos de deficiência. Os sintomas simultâneos de deficiência foram, inicialmente, característicos de cada elemento. A redução na matéria seca total das plantas de café foi influenciada na seguinte ordem: B = Ca e B = B e Zn > Zn = Cu = Cu e Zn > Ca.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, solução nutritiva, teor foliar, deficiência simultânea, sintoma visual.

GROWTH AND NUTRIENT LEAF LEVEL IN COFFEE PLANT (*Coffea arabica* L.), FROM ISOLATED AND SIMULTANEOUS OMISSION OF Ca, B, Cu E Zn

ABSTRACT: Realized in greenhouse, the present research aimed to evaluate the effect of isolated and simultaneous omission of Ca, B, Cu and Zn on growth, leaf nutrient concentration level, as well as the manifestation of deficiency visual symptoms from coffee plants (*Coffea arabica* L.). The experimental design was fully randomized with four replicates and eight treatments, as mentioned above: complete nutritive solution (HOAGLAND & ARNON, 1950), solution with individual omission of Ca, B, Cu and Zn and double omission simultaneous of Ca and B, Cu and Zn and B and Zn. The omission of nutrient in the nutritive solution caused a reduction in leaf concentration, independent of being isolated or associated with another. The leaf analysis showed in the treatments with nutrient omission, independent of omitted nutrient, the leaf level of Ca (2,02 g/kg), B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) and Zn (3,15 mg/kg), was always lower than the verified for plants with full treatments. The isolated and simultaneous absence reduced the plant development, causing morphological modifications with characteristics symptoms of deficiency. The simultaneous symptoms of deficiency were initially characteristic for leaf nutrient. The reduction in total dry matter of coffee was influenced in the following order: B = Ca e B = B e Zn > Zn = Cu = Cu e Zn > Ca.

Key words: *Coffea arabica*, nutritive solution, leaf level, simultaneous deficiency, visual symptom.

1 INTRODUÇÃO

A produtividade de espécies arbóreas com alto potencial de crescimento é frequentemente limitada por restrições nutricionais e hídricas, tornando imprescindível, para o sucesso da implantação dessas espécies em solos marginais, o conhecimento dos seus requerimentos nutricionais (SANGINGA et al., 1991).

Para Faquim (2001), a quantidade de nutrientes exigida pelas plantas é função dos teores no material vegetal e do total de matéria seca produzida. A

concentração e a produção das plantas variam muito, modificando as exigências nutricionais.

A falta ou o excesso de um nutriente para a planta traduzem-se em anormalidades, típicas de cada nutriente. O motivo pelo qual o sintoma é típico é o de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções, qualquer que seja a espécie de planta. Tais sintomas que aparecem nas folhas, caules e raízes contribuem para avaliar o estado nutricional do vegetal.

A diagnose visual consiste em comparar o aspecto da amostra com o do padrão. Na maior parte

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor, Av. Divino Espírito Santo, 306, 301 – 35500-021 – Divinópolis, MG – roger@ufla.br

²Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Agricultura/DAG – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – rubensjg@ufla.br

³Engenheira Agrônoma, Dra., Professora, Departamento de Ciência do Solo/DCS – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – janicegc@ufla.br

dos casos, compara-se o de um órgão, geralmente a folha, dependendo do elemento (CARVALHO et al., 2001; MALAVOLTA et al., 1997). Entretanto, antes da manifestação visível da deficiência, o crescimento e a produção já poderão estar limitados: é o que se chama de fome oculta, que somente poderá ser detectada por meio de análise química do material vegetal ou diagnose foliar (MALAVOLTA, 2006).

Para Fontes (2001), por meio de procedimentos diretos ou indiretos, é possível determinar o estado nutricional das plantas. Os procedimentos diretos são aqueles em que as concentrações aparentes (análise visual) e ou reais (análise da matéria seca ou da seiva) dos nutrientes são determinadas. Os indiretos são aqueles em que a concentração de determinado nutriente na planta é estimada por meio de uma característica cujos valores sejam correlacionados com as concentrações do nutriente na planta.

Segundo Raij (1991), embora a necessidade da planta em macronutrientes seja maior do que a de micronutrientes, no estudo de nutrição mineral de plantas é necessário considerar os nutrientes como um todo. Isso porque, no processo de absorção, um pode exercer influência sobre o outro, dadas as possíveis interações que podem ocorrer, alterando, dessa forma, a composição mineral das folhas.

De acordo com Salvador et al. (1999), são necessárias observações detalhadas de todas as anormalidades visíveis apresentadas pelas plantas, em uma tentativa de levá-las a interagir com outros parâmetros importantes, como a diagnose foliar e a análise de solo.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o crescimento, o teor foliar de nutrientes, bem como a sintomatologia de deficiências nutricionais isoladas e simultâneas de Ca, B, Cu e Zn, em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado, de abril de 2006 a março de 2007, em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (Lavras, MG), situada geograficamente nas coordenadas de 21°14' de latitude Sul e 45°00' de longitude Oeste, à altitude de 910 m.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos,

representados por: solução nutritiva completa (HOAGLAND & ARNON, 1950), solução nutritiva menos cálcio, solução nutritiva menos boro, solução nutritiva menos cobre, solução nutritiva menos zinco, solução nutritiva menos cálcio e boro, solução nutritiva menos boro e zinco e solução nutritiva menos cobre e zinco. Cada parcela foi constituída por uma planta por vaso de 2 litros.

Foram utilizadas plantas de cafeeiro cultivar Topázio MG 1190, provenientes de tubetes, que se encontravam com sete pares de folhas verdadeiras. As mudas foram podadas com tesoura de poda, acima do terceiro par de folhas. A condução das mudas foi feita promovendo-se a desbrota quando os brotos atingiam 2,5 cm, deixando-se apenas um broto por muda.

As mudas permaneceram na solução nutritiva completa com 25%, 50% e 100% da sua força iônica pelo período de 36 dias em cada concentração, obedecendo a mesma seqüência; nessa etapa, a solução era trocada a cada 18 dias.

Posteriormente, as mudas foram transferidas para os vasos onde foram aplicados os tratamentos. As soluções foram trocadas quinzenalmente, durante os 250 dias de condução do experimento.

As medições de altura de broto/planta, diâmetro de broto/planta e área foliar foram realizadas na retirada de cada tratamento. A altura de broto foi medida, em centímetros, da inserção do broto até a gema apical; o diâmetro de broto medido em milímetros, com paquímetro, a 0,5 cm acima da inserção do broto; o número de ramos plagiotrópicos foi contado na retirada das plantas e a área foliar obtida em centímetros quadrados por muda. Esse valor foi estimado pela metodologia proposta por Huerta (1962), que consiste em medir o comprimento e a maior largura de uma das folhas de cada par, desde que essa não possua comprimento inferior a 2,5 centímetros. Essas duas medidas são multiplicadas entre si, pela constante 0,667 e por dois, para obter-se a área foliar de cada par de folhas. Somando-se as áreas dos pares de folhas, obtém-se a área foliar de cada planta.

As raízes, os caules e as folhas foram acondicionados separadamente em sacos de papel, devidamente etiquetados e levados para a secagem em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 60°C, até peso constante. Após a secagem, pesou-

se o material em balança de precisão e o resultado foi expresso em gramas por planta. Para determinação dos teores médios de Ca, B, Cu, e Zn, foram utilizadas todas as folhas das mudas, que foram moídas em moinho tipo Wiley e as análises feitas conforme Malavolta et al. (1997).

O efeito relativo foi calculado pelo método de porcentagem de suficiência ou produção relativa (RAIJ, 1991), adaptado para a determinação do “crescimento relativo” (CR), segundo a fórmula:

$$CR (\%) = \frac{\text{Produção de matéria seca com omissão do nutriente(g)} \times 100}{\text{Produção de matéria seca do tratamento completo (g)}}$$

Os tratamentos em que houve sintomas visuais de deficiência antes de completados os 240 dias de condução do experimento foram colhidos, visando a reduzir perdas de material para análise.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Programa Computacional Sisvar (FERREIRA, 2000). Quando verificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knot ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeitos no crescimento

Houve efeito significativo da omissão isolada ou simultânea de cálcio, boro cobre e zinco, nos resultados de altura e diâmetro do broto, área foliar e número de ramos plagiocrômicos (NRP) das plantas

de cafeeiro (Tabela 1). Verifica-se, pela análise estatística dos dados, que a omissão dos nutrientes na solução nutritiva reduziu a altura das plantas, tendo o tratamento composto pela solução completa proporcionado melhor desempenho, quando comparado aos demais. As omissões isoladas de boro e simultânea de boro e cálcio e de boro e zinco apresentaram menores alturas.

O diâmetro do broto das plantas cultivadas com omissão isolada de boro e simultânea de cálcio e boro e de boro e zinco apresentaram caules menos espessos. Isso parece indicar que a omissão de boro foi um fator limitante ao crescimento radial do caule.

Para área foliar, os piores resultados também foram encontrados nos tratamentos sem boro isoladamente e associado ao cálcio e ao zinco. As plantas cultivadas na solução nutritiva completa tiveram área foliar superior à das demais; as cultivadas sob a omissão isolada de cálcio tiveram o menor comprometimento de área foliar.

Resultado semelhante também ocorreu para número de ramos plagiocrômicos, tendo os menores números sido verificados quando houve ausência isolada de boro e simultânea de cálcio e boro e de boro e zinco. Com isso, demonstra-se que o boro, isolado ou associado a outro nutriente, foi o que mais comprometeu o surgimento de ramos plagiocrômicos. Como observado para as demais características analisadas (Tabela 1), o número de ramos

Tabela 1 – Altura do broto, diâmetro do broto, área foliar e número de ramos plagiocrômicos de cafeeiros após 250 dias da aplicação dos tratamentos.

Tratamento	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Área foliar (cm ²)	NRP (n ^o)
Completa	31,13 a	9,25 a	227,44 a	11,25 a
- Ca	19,75 b	8,23 b	154,14 b	8,25 b
- B	10,52 d	4,45 d	88,21 d	2,50 d
- Cu	13,00 c	5,45 c	120,15 c	5,00 c
- Zn	19,10 b	5,70 c	122,41 c	6,00 c
- (Ca e B)	10,38 d	4,25 d	84,22 d	2,50 d
- (B e Zn)	10,08 d	4,50 d	88,13 d	3,50 d
- (Cu e Zn)	14,00 c	5,38 c	123,52 c	5,50 c
C.V. (%)	13,22	6,52	10,64	17,40

¹Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente a 5%, pelo teste Scott-Knott.

plagiotrópicos das plantas cultivadas na solução nutritiva completa foi superior.

As massas de matéria seca de raiz, parte aérea e total, bem como o crescimento relativo, foram significativamente influenciados pela ausência dos nutrientes na solução nutritiva (Tabela 2). A omissão isolada de boro e a simultânea de cálcio e boro e de boro e zinco resultaram em massa de matéria seca de raiz, parte aérea e total inferiores, não apresentando diferença significativa entre si. Pelos resultados, verifica-se que, nessa fase, o cafeeiro apresenta maior exigência de B em relação aos demais nutrientes estudados.

Nota-se que as plantas cultivadas na solução completa apresentaram também maior massa de matéria seca de raiz, parte aérea e, conseqüentemente, maior massa de matéria seca total (Tabela 2). Para massa de matéria seca de raiz, os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si. Já para massa de matéria seca da parte aérea, massa de matéria seca total e para a relação massa matéria seca parte aérea e raiz, a ausência de cálcio foi a que menos comprometeu a produção. Para esses itens de avaliação, a ausência de boro isolado e associado ao cálcio e ao zinco proporcionaram os piores desempenhos. Os demais tratamentos proporcionaram desempenho semelhante e não diferiram estatisticamente entre si.

Os efeitos da ausência dos nutrientes na solução nutritiva na produção de massa de matéria seca total induziram a seguinte ordem de redução: B>(Ca e B)>(B e Zn)>Cu>Zn>(Cu e Zn)>Ca, inferindo-se que o desenvolvimento da planta, durante o período experimental, foi menos afetado pela omissão de Ca e mais afetado pela omissão de B. Neves et al. (2004), estudando mudas de umbuzeiro, verificaram que o B foi também mais limitante no desenvolvimento que quando foram omitidos Cu e Zn, isoladamente e simultaneamente. A ordem crescente para os nutrientes que mais afetaram o desenvolvimento de mudas de umbuzeiro foi: Fe>B>Zn>Zn+Cu>Mn. Já Salvador et al. (1999), trabalhando com mudas de goiabeira cultivadas em solução nutritiva, verificaram que a omissão do micronutriente cobre foi mais prejudicial que a de boro, tendo a ordem de decréscimo no desenvolvimento sido a seguinte: Fe>Cu>B>Zn>Mn.

O crescimento relativo (CR) foi calculado em relação aos resultados apresentados pelas plantas cultivadas na solução completa, em que a produção de matéria seca total foi maior. Com isso, pôde-se verificar que o total de matéria seca produzida pelas plantas de cafeeiro cultivadas na ausência isolada de boro e simultânea de cálcio e boro e zinco e boro foi inferior a 20%. As plantas com deficiência isolada e

Tabela 2 – Massa de matéria seca de raiz, da parte aérea e total; relação entre massa de matéria seca da parte aérea e raiz (PA/R) e crescimento relativo (CR) de cafeeiros após 250 dias da aplicação dos tratamentos.

Tratamento	Massa seca (g/planta)				CR*(%)
	Raiz	Parte aérea	Total	PA/R	
Completa	9,73 a	51,96 a	61,69 a	5,34 a	100
- Ca	5,50 b	22,09 b	27,59 b	4,02 b	45
- B	4,90 b	6,35 d	11,25 d	1,30 d	18
- Cu	5,09 b	11,98 c	17,07c	2,35 c	25
- Zn	4,99 b	12,14 c	17,13 c	2,43 c	25
-(Ca e B)	5,05 b	6,53 d	11,58 d	1,29 d	19
-(B e Zn)	4,91 b	6,40 d	11,31 d	1,30 d	18
-(Cu e Zn)	5,18 b	11,88 c	17,06 c	2,30 c	25
C.V. (%)	19,14	10,38	10,88	10,38	-----

¹Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott.

*Referente à produção total de matéria seca.

simultânea de cobre e zinco apresentaram crescimento relativo (CR) de 25%. Para a omissão isolada de cálcio, o resultado foi de 45%.

3.2 Deficiências nutricionais e teores foliares de Ca, B, Cu e Zn

As plantas que se desenvolveram nas soluções nutritivas em que houve a omissão isolada ou

simultânea de nutrientes apresentaram sintomas visuais de deficiências, ausentes no tratamento completo (Figura 1). A ordem cronológica de aparecimento desses sintomas foi a seguinte: B, B e Zn, Ca e B, Cu, Cu e Zn, Zn e Ca. As deficiências nutricionais isoladas ou simultâneas foram confirmadas, determinando-se o teor foliar médio dos nutrientes nas plantas de cada tratamento.



Figura 1 – Cafeeiros submetidos à omissão isolada e simultânea de nutrientes: (A) solução completa; (B) ausência de cálcio; (C) ausência de boro; (D) planta do tratamento completo e com ausência de cobre; (E) ausência de zinco; (F) ausência simultânea de cálcio e boro; (G) planta do tratamento completo e com ausência simultânea de cobre e zinco.; (H) planta do tratamento completo e com ausência simultânea de boro e zinco.

A concentração dos nutrientes nas folhas foi influenciada significativamente pela ausência isolada e simultânea dos nutrientes na solução. Os resultados da omissão individual e simultânea de cada nutriente sobre os teores médios de cálcio, boro, cobre e zinco encontram-se na Tabela 3.

Nota-se que toda omissão, isolada ou simultânea, resultou em redução nas concentrações dos nutrientes nas folhas, quando comparadas às plantas cultivadas na solução nutritiva completa.

Deficiência e teor foliar de cálcio - Os sintomas de deficiência foram observados aos 205 dias nos tecidos mais jovens e nas folhas próximas do ápice vegetativo. Ocorreu um crescimento não uniforme da folha, do qual resultaram deformidades; notou-se, principalmente, a morte de pontos de crescimento e das gemas apicais (Figura 1B). As plantas desse tratamento foram retiradas aos 241 dias após a aplicação dos tratamentos. Quando houve omissão de cálcio, o teor foliar médio desse nutriente foi 2,02 g/kg, 27,5% em relação ao tratamento completo, em que o teor encontrado foi 7,94 g/kg (Tabela 3). O teor verificado no tratamento completo está próximo ao limite superior da faixa apresentada por Gonçalves (2005) e Gontijo (2004), com mudas de cafeeiros, que estabelecem como faixa ideal teores entre 6,90 e 7,70 g/kg. Quando comparados às faixas propostas por Malavolta (1993), Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones Júnior (1996)

e Wilson (1985), que ficam entre 7,50 e 25,00 g/kg, para cafeeiros em produção, verifica-se que o teor encontrado está dentro do intervalo.

Deficiência e teor foliar de boro - Os sintomas de deficiências começaram a aparecer nitidamente a partir do 30º dia do início do tratamento, tendo as plantas sido colhidas aos 104 dias. A deficiência foi observada nas folhas mais jovens, que se apresentaram pequenas, com clorose irregular, deformadas, mais espessas e quebradiças. A omissão de boro induziu, ainda, o secamento e a morte dos pontos vegetativos apicais, em que a regeneração a partir de gemas axilares formou galhos em leque na parte do ramo principal (Figura 1C). Nos tratamentos com omissão isolada de cálcio e zinco e simultânea de cobre com zinco, foram observados os maiores teores médios de boro nas folhas, possivelmente decorrente do efeito de concentração desse nutriente na matéria seca das folhas em virtude do menor crescimento dessas. O teor de boro para esse tratamento foi de 14,98 mg/kg, 23,1% do teor encontrado quando todos os nutrientes foram adicionados à solução, que foi 64,9 mg/kg (Tabela 3). Esse teor encontra-se acima dos 37,53 e 48,93 mg/kg verificados para mudas de cafeeiros por Gonçalves (2005) e Gontijo et al. (2007) dentro da faixa estabelecida para cafeeiros em produção por Malavolta (1993), Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones Júnior (1996) e Wilson (1985),

Tabela 3 – Teores foliares médios de Ca, B, Cu e Zn em cafeeiros (*Coffea arabica* L.), aos 250 dias em função dos tratamentos.

Tratamento	Ca (g/kg)	B (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Completa	7,94 b	64,90 b	2,31 a	5,31 a
- Ca	2,02 d	85,93 a	1,79 b	4,49 a
- B	8,12 b	14,98 c	2,31 a	4,47 a
- Cu	8,98 b	64,38 b	0,91 b	4,83 a
- Zn	8,37 b	70,31 a	1,60 b	3,15 b
- Ca e B	4,63 c	13,62 c	1,74 b	4,71 a
- B e Zn	8,25 b	16,20 c	2,49 a	3,64 b
- Cu e Zn	10,4 a	77,94 a	1,37 b	3,86 b
C.V. (%)	8,89	14,25	29,57	11,73

¹Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem significativamente, a 5%, pelo teste Scott-Knott.

que fica entre 40,00 e 100,00 mg/kg, no 3º ou no 4º par de folhas.

Deficiência e teor foliar de cobre – Aos 110 dias após o início do tratamento, foram observados os primeiros sintomas de deficiência de cobre e, aos 148 dias, as plantas foram colhidas. Ocorreu, inicialmente, a clorose das folhas mais novas e, posteriormente, os limbos foliares passaram a mostrar alterações morfológicas com as folhas encurvando-se e posicionando-se verticalmente, o que é comumente denominado de “orelha-de-zebu”. Foi observada também a inibição no crescimento das plantas (Figura 1D). Verifica-se, pela Tabela 3, que, na omissão de cobre, o teor foliar foi de 0,91 mg/kg, que representa 39% dos 2,31 mg/kg encontrados nas plantas da solução completa. O teor de 2,31 mg/kg ficou abaixo da faixa estabelecida por Gontijo et al. (2007), que foi de 6,94 a 9,29 para mudas de cafeeiro em saquinhos. No entanto, para mudas em tubetes, o teor verificado encontra-se acima da faixa de 1,31 a 1,75 mg/kg encontrado por Gonçalves (2005). Teores, no 3º ou no 4º par de folhas de cafeeiros em produção, entre 7 e 50 mg/kg, são considerados ideais por Malavolta (1993), Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones Júnior (1996) e Wilson (1985).

Deficiência e teor foliar de zinco - Nas plantas cultivadas na ausência de zinco, as alterações morfológicas surgiram aos 115 dias após o início do tratamento, de forma mais pronunciada nas folhas mais jovens. Os principais sintomas observados foram a produção de folhas pequenas e estreitas, algumas vezes retorcidas, e a formação de ramos com internódios curtos, dando o aspecto de “roseta” (Figura 1E). As plantas desse tratamento foram retiradas aos 148 dias após a aplicação dos tratamentos. Notou-se (Tabela 3) que o teor médio de zinco foi de 3,15 mg/kg, ou seja, 59,32% do teor verificado para as plantas da solução completa (5,31 mg/kg). Esse teor é superior à faixa de 3,68 e 4,08 mg/kg para mudas em saquinhos e inferior à faixa de 12,08 a 15,54 mg/kg, encontrada por Gonçalves (2005) para mudas em tubetes. A faixa adequada estabelecida para plantas em produção por Malavolta (1993), Malavolta et al. (1997), Matiello (1997), Mills & Jones Júnior (1996) e Wilson (1985) situa-se entre 8 e 30 mg/kg.

Deficiência simultânea e teor foliar de cálcio e boro - Os sintomas visuais observados

inicialmente parecem ser causados pela deficiência de boro, levando à ocorrência de folhas mais jovens, pequenas e deformadas. Posteriormente, ocorreram a morte dos pontos vegetativos e o secamento dos ramos de maneira descendente (*dieback*), o que pode ser atribuído também à falta de Ca. Esses sintomas começaram a aparecer a partir do 28º dia do início do tratamento, sendo as plantas colhidas aos 104 dias. Embora os sintomas sejam inicialmente identificados como o da omissão isolada de boro, a redução nos teores foliares médios de cálcio e boro demonstra haver carência conjugada desses dois nutrientes (Figura 1F). Para Marschner (1995), a existência da interação entre cálcio e boro deve estar alicerçada no fato de ambos exercerem uma função estrutural das membranas e da parede celular. Nota-se que o teor foliar de cálcio foi de 4,63 g/kg e o de boro de 13,62 mg/kg, 63% e 21% em relação aos teores do tratamento completo, respectivamente (Tabela 3). Na deficiência isolada de cálcio, o teor foliar foi de 2,02 mg/kg, ao passo que para a omissão simultânea de cálcio e boro esse teor foi de 4,63 mg/kg. Esse “maior” valor no teor de cálcio deve-se a um efeito de concentração, já que a produção de matéria seca de parte aérea sob omissão de cálcio foi de 22,09 g e no tratamento sob omissão de cálcio e boro foi de 6,53 g.

Deficiência simultânea e teor foliar de cobre e zinco - Nos tratamentos em que não se adicionaram cobre e zinco simultaneamente, os primeiros sintomas foram observados a partir de 110 dias. Os sintomas manifestados foram da deficiência de zinco, nos quais os limbos foliares apresentaram, além da formação de folhas pequenas e próximas entre si, a formação de ramos com internódios curtos (Figura 1 G). Esse tratamento foi coletado aos 148 dias de condução do experimento. Quando da omissão simultânea de cobre e zinco, os teores foliares verificados foram de 1,37 (76,5%) e 3,86 (72,7%), ao passo que o tratamento completo apresentou teores de 2,31 e 5,31 mg/kg, respectivamente.

Deficiência simultânea e teor foliar de boro e zinco - Como ocorrido com a omissão de boro associada ao cálcio, os sintomas iniciais foram os mesmos verificados para a deficiência de boro. As folhas mais jovens apresentaram formato irregular e eram pequenas, mais espessas e quebradiças. Ocorreram também o secamento e a morte dos pontos vegetativos apicais, em que a regeneração a partir

de gemas axilares formou galhos em leque na parte do ramo principal, sintoma também característico da deficiência de zinco (Figura 1H). Os sintomas foram observados aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos, tendo as plantas sido retiradas aos 104 dias. O teor foliar médio encontrado quando se omitiram esses dois nutrientes foi de 16,20 mg/kg para o boro e 3,64 mg/kg para o zinco, o que corresponde a 25% e 69% dos teores verificados para o tratamento completo, que foram de 64,9 e 5,31 mg/kg, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

A ausência isolada ou simultânea de Ca, B, Cu e Zn, na solução nutritiva comprometeu o desenvolvimento das plantas, levando a alterações morfológicas, com sintomas característicos de deficiência nutricional.

Os sintomas simultâneos de deficiência foram, inicialmente, característicos de cada nutriente, tendo a ausência dos nutrientes na solução, independentemente de estarem isolados ou associados a outro, promovido a redução de sua concentração na folha.

A redução na matéria seca total das plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) foi influenciada na seguinte ordem: B = Ca e B = B e Zn > Zn = Cu = Cu e Zn > Ca.

Os teores foliares médios de Ca (2,02 g/kg), B (14,98 mg/kg), Cu (0,91 mg/kg) e Zn (3,15 g/kg) são insuficientes para o crescimento do cafeeiro.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, J. G. de; LOPES, A. S.; BRASIL, E.; JÚNIOR, R. A. R. **Diagnose da fertilidade do solo e do estado nutricional de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 95 p.
- FAQUIM, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 182 p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 122 p.
- GONÇALVES, M. S. **Faixas críticas de teores foliares de nutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- GONTIJO, R. A. N. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- GONTIJO, R. A. N.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; ANDRADE, W. E. de B. **Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 135-141, 2007.
- HOAGLAND, D. R.; ARNO, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University of California/College of Agriculture/Agricultural Experiment Station, 1950. 32 p. (Circular, 347).
- HUERTA, S. A. Comparación de métodos de laboratorio y de campo, para medir el área foliar del cafeto. **Cenicafé**, Caldas, v. 13, n. 1, p. 33-42, ene./mar. 1962.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant**. 2. ed. London; San Diego: Academic, 1995. 889 p.
- MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: Globo Rural, 1997. 139 p.
- MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J. B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p.
- NEVES, O. S. C.; SÁ, J. R. de; CARVALHO, J. G. de. Crescimento e sintomas visuais de deficiências de micronutrientes em umbuzeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 306-309, 2004.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Efeito da omissão combinada de N, P, K e S nos teores foliares de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 501-507, 1999.

SANGINGA, N.; GWAJE, D.; SWIFT, M. J. Nutrient requirements of exotic tree species in Zimbabwe. **Plant and Soil**, The Hague, v. 132, p. 197-205, 1991.

WILSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFORD, N. N.; WILLSON, K. C. (Eds.). **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage**. Croom Helm: [s.n.], 1985. part 6, p. 135-156.