

FORNECIMENTO DE BORO, COBRE E ZINCO AO CAFEIEIRO VIA INSERÇÃO DE COMPRIMIDOS NO RAMO ORTOTRÓPICO

Yonara Poltronieri¹, Herminia Emilia Prieto Martinez²,
Junia Maria Clemente³, Aline de Oliveira Ferreira⁴

(Recebido: 19 de fevereiro de 2016; aceito: 18 de maio de 2016)

RESUMO: O objetivo neste trabalho foi avaliar a viabilidade do fornecimento do boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn) ao cafeeiro (*Coffea arabica*) via inserção de comprimidos com sais desses elementos no tronco das plantas. O experimento foi instalado em uma lavoura de café utilizando o delineamento em blocos casualizados com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos estudados foram um controle sem fornecimento de B, Cu ou Zn e duas diferentes vias de fornecimento desses nutrientes, como descrito a seguir: pulverização foliar com ácido bórico, oxiclóreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%; comprimido contendo sais de B; comprimido contendo sais de Cu; comprimido contendo sais de Zn e comprimido contendo sais de B, Cu e Zn. Os comprimidos foram inseridos no alburno da haste ortotrópica do cafeeiro a 10 cm de altura em relação à superfície do solo. Ambas as vias, pulverização foliar e inserção de comprimidos no tronco, são eficientes no suprimento de B, Cu e Zn ao cafeeiro, indicando que o comprimido é uma alternativa no suprimento desses micronutrientes.

Termos para indexação: Micronutrientes, nutrição mineral, *Coffea arabica*, comprimidos implantados no tronco.

BORON, COPPER AND ZINC SUPPLY BY INSERTION TABLETS IN THE COFFEE ORTHOTROPIC STEM

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the viability supply of boron (B), copper (Cu) and zinc (Zn) through salts tablets implanted in *Coffea arabica* stem. The experiment was carried out using a coffee plantation in a randomized block design with 6 treatments and 4 replicates. The treatments were different supply routes as described next: without supply of B, Cu and Zn; foliar sprays with boric acid, copper oxychloride and zinc sulfate applied in 0.4% concentrations; tablet containing B salts; tablet containing Cu salts; tablet containing Zn salts and tablet containing B, Cu and Zn salts. Tablets were introduced in the sapwood of orthotropic branches to 10 cm above the soil surface. Both forms of supply, foliar sprays and tablets trunk insertion are efficient supply B, Cu and Zn on coffee, thus proved to be a promising way of supplying these micronutrients.

Index Terms: Micronutrients, mineral nutrition, *Coffea arabica*, trunk implanted tablets.

1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes, embora exigidos em menor quantidade, desempenham funções específicas e essenciais no metabolismo das plantas, sendo que a falta pode ocasionar perdas no crescimento, produção e qualidade do cafeeiro (GONTIJO; GUIMARÃES; CARVALHO, 2008; POLTRONIERI; MARTINEZ; CECON, 2011).

O café é uma das espécies mais sensíveis e responsivas ao boro (B). A deficiência desse elemento resulta em redução do sistema radicular, aborto de flores, malformação de frutos e deformidades nos elementos de vasos (ROSOLEM; LEITE, 2007). O B é integrante de compostos que constituem a hemicelulose, atua no desenvolvimento do tubo polínico, no transporte de açúcares através das membranas e na formação de nucleotídeos (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

O cobre (Cu) beneficia as plantas através do seu efeito como micronutriente e como tonificante. Esse elemento é essencial às plantas por ser componente de muitas enzimas e proteínas e por estar envolvido em inúmeras rotas metabólicas. Várias enzimas que contêm ou são ativadas pelo Cu, catalisam reações de oxidação-redução em diversos processos fisiológicos das plantas (CHOUDHARY et al., 2012; GUO et al., 2010; YRUELA, 2009).

O zinco (Zn) desempenha diferentes papéis sendo importante para manter a integridade das membranas, síntese de proteínas, síntese do triptofano, aminoácido precursor do AIA, desintoxicação de radicais superóxido, integridade estrutural de ribossomos e produção de sementes (BROADLEY et al., 2007; HENRIQUES; CHALFUN-JUNIOR; AARTS, 2012). A deficiência de Zn provoca redução do

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG/ SUDESTE - Vila Giannetti, 46 - 36.570-900 - Viçosa - MG
ypoltronieri@epamig.br, alineagro03@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Fitotecnia/DFT - 36.570-900 - Viçosa - MG - herminia@ufv.br

³Universidade Federal de Viçosa/UFV - Campus Rio Paranaíba - Rodovia MG-230, Km 7 38.810-000 - Rio Paranaíba - MG
junia.clemente@yahoo.com.br

comprimento dos internódios, folhas pequenas, estreitas e lanceoladas, formação de “rosetas” nas pontas dos ramos e menor produção de matéria seca, especialmente da parte aérea (TARIQ et al., 2007).

Deficiências de B, Cu e Zn são frequentemente observadas nas lavouras cafeeiras (FARNEZI; SILVA; GUIMARÃES, 2009; LANA et al., 2010; MARTINEZ et al., 2004). A correção dessas é feita por meio de fertilizantes fornecidos via solo ou via pulverizações foliares. No entanto, o Zn e o Cu aplicados em solos argilosos podem ficar fortemente adsorvidos na fração coloidal ou na matéria orgânica do solo, dificultando a absorção pela planta (LOPES et al., 2014; MARTÍNEZ; MOTTO, 2000; OLIVEIRA et al., 2010). Por outro lado, devido à baixa mobilidade do B, Cu e Zn no floema há comprometimento da eficácia das pulverizações foliares, dado que, folhas crescidas após as pulverizações poderão apresentar sintomas de deficiência (MANTOVANI; CALONEGO; FOLONI, 2013; SARTORI et al., 2008). Assim sendo, são necessárias, no mínimo, três aplicações ao ano, onerando o custo de produção principalmente em regiões montanhosas, podendo chegar a 50% das despesas do custeio total (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Na tentativa de contornar essas dificuldades a inserção de comprimidos no tronco das plantas com a finalidade de liberação de substâncias é interessante, já que o processo de liberação de nutrientes é lento podendo ocorrer por vários anos. Este método foi utilizado ao longo do tempo em estudos de pequena escala para resolver o problema da absorção e/ou translocação de nutrientes. Abdi e Hedayat (2010) verificaram que a inserção de Fe no tronco de palma (*Phoenix dactylifera* L.) foi mais eficiente que os demais métodos de fertilização podendo ajudar a superar problemas de transporte e absorção de Fe nessa espécie. Shaaban (2009) estudando mangueiras (*Mangifera indica* L.) e videiras (*Vitis vinifera* L.) fertilizadas por meio de injeções no tronco observou que o crescimento da mangueira aumentou de 20-25% e a videira apresentou aumento no rendimento da fruta de 32-49% quando comparados com a fertilização no solo. Em cafeeiro foi verificada a viabilidade da suplementação do Zn via inserção de comprimidos na haste ortotrópica, e a resposta em termos de produtividade e qualidade dos grãos. O método foi eficiente no fornecimento deste elemento

(POLTRONIERI; MARTINEZ; CECON, 2011). Também foram verificadas semelhanças nos conteúdos de Zn nas folhas dos cafeeiros pulverizados com sulfato de Zn e daqueles com inserção de comprimidos de sais desse elemento no tronco. Entretanto, os autores observaram que o fornecimento de Zn pelos comprimidos foi mais regular, durante o período experimental, quando comparado à pulverização foliar (MARTINEZ; POLTRONIERI; CECON, 2015).

O fornecimento de B, Cu e Zn, micronutrientes mais demandados pelas lavouras cafeeiras brasileiras, via inserção de comprimidos no tronco seria uma opção de suprimento desses elementos ao cafeeiro, reduzindo a demanda por mão de obra, já que se pressupõe que o fornecimento desses elementos pelo comprimido atenderia a demanda da planta por mais de dois ciclos de produção. Desta forma, o objetivo do presente trabalho é verificar a viabilidade do fornecimento do B, Cu e Zn ao *Coffea arabica* L. via inserção de comprimidos com sais desses elementos no ramo ortotrópico das plantas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em julho 2010 e avaliado até abril 2013, sendo conduzido em uma lavoura de *Coffea arabica* cv. Catuaí Vermelho IAC-99, em espaçamento de 3 x 1m, com quatro anos de idade após a recepa, em Viçosa, situada à 581m de altitude, 20°45' Sul e 42°51' Oeste. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com clima do tipo Cwa segundo Köppen, e temperatura e precipitação média anual de 19,4°C e 1.221,4 mm, respectivamente. As características químicas do solo, nos anos de 2010, 2011 e 2012, estão apresentadas na Tabela 1.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 6 tratamentos e 4 repetições. A parcela útil foi constituída das quatro plantas dispostas no centro da parcela de 54 m². Os tratamentos estudados foram: Test (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo 12 % de B), CCu (comprimido contendo 24% de Cu), CZn (comprimido contendo 6% de Zn) e B+Cu+Zn (comprimido contendo 12, 24 e 6% de B, Cu e Zn respectivamente).

Para a elaboração dos comprimidos foi feita uma fôrma matriz, na qual o material com os micronutrientes foi acondicionado e submetido à compressão de 1 tnf por meio de uma prensa hidráulica.

TABELA 1 - Composição química da camada de 0-20 cm do solo da área experimental nos anos de 2010, 2011 e 2012.

	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC(T)	V	m
		mg.dm-3			cmol. dm-3				%	
2010	4,9	26	70	1,0	0,3	0,5	3,96	5,44	27	25
2011	5,1	28	132	2,3	0,8	0,4	6,80	10,22	34	10
2012	7,0	17	60	3,6	1,4	0,0	2,15	7,30	71	0,0

Os comprimidos foram inseridos no alburno da haste ortotrópica do cafeeiro a 10 cm de altura em relação à superfície do solo, no dia 16 de julho de 2010. Em cada planta foi feito um orifício, por meio de furadeira manual, por onde foi inserido o comprimido. Em seguida o mesmo foi coberto com cera de abelha para evitar o contato com o meio externo.

Foram realizadas três pulverizações em cada ano agrícola entre os meses de setembro e fevereiro. No tratamento onde o fornecimento do micronutriente foi através da inserção de comprimido no tronco não foi realizada a pulverização foliar do referido micronutriente. A calagem e a adubação, contendo nitrogênio, fósforo e potássio, foram realizadas com base em análise de solo, na produtividade esperada e nas recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999).

O estado nutricional dos cafeeiros foi avaliado por meio da concentração de Cu, B e Zn das folhas do terceiro ou quarto nó, contado do ápice para a base, de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas no período entre a floração e a expansão rápida dos frutos nos anos de 2010 e 2011.

Para verificar a eficácia da inserção dos comprimidos no tronco, ao longo do período experimental, determinaram-se os conteúdos de B, Cu e Zn nas folhas novas localizadas no ápice dos ramos produtivos na altura mediana das plantas aos 41, 60, 94, 121, 173, 318, 365, 411, 431, 459, 480, 508, 541 e 704 dias após a aplicação dos tratamentos.

Foram realizadas a pesagem e a análise química de B, Cu e Zn nas folhas amostradas, conforme os métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). De posse das concentrações e das massas secas das folhas jovens, calcularam-se os conteúdos em µg/folha.

Os valores médios da precipitação

acumulada, através da soma das precipitações diárias, nos meses de amostragem foliar estão apresentados na Figura 1.

A produção de grãos foi avaliada, nos anos agrícolas 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 quando as plantas apresentaram aproximadamente 5% de frutos verdes. Os grãos foram descascados, espalhados em finas camadas e secos, até 11% de umidade, em bancadas suspensas. A produção por parcela útil foi mensurada em kg. Procedeu-se então a conversão da produção por parcela útil em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare, da seguinte forma: a produção obtida, por parcela, foi dividida pelo número de plantas da parcela. Esse valor foi multiplicado 3333,33 que corresponde ao número de plantas por hectare em espaçamento 3x1 m. Posteriormente, o valor alcançado foi dividido por 60 obtendo-se a produtividade em sacas por hectare.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância discriminando-se as médias dos tratamentos em relação à testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise foliar de B, Cu e Zn

Em Viçosa, as faixas consideradas adequadas para os teores de B, Cu e Zn das folhas índices de café são respectivamente 29-52; 13-29 e 6-12 µg g⁻¹ (MARTINEZ et al., 2004). Os teores desses micronutrientes nas folhas dos cafeeiros estudados encontram-se dentro das faixas em todos os tratamentos, exceto para o tratamento testemunha, indicando ser igualmente eficiente o fornecimento via pulverização foliar quanto via inserção de comprimidos no tronco (Tabela 2). Entretanto, observam-se padrões distintos para o B: o tratamento com comprimido BCuZn apresentou teores considerados tóxicos nas folhas índices do cafeeiro, 75,5 µg g⁻¹, no ano de 2011, apesar de não terem sido observados sintomas de toxidez nas plantas.

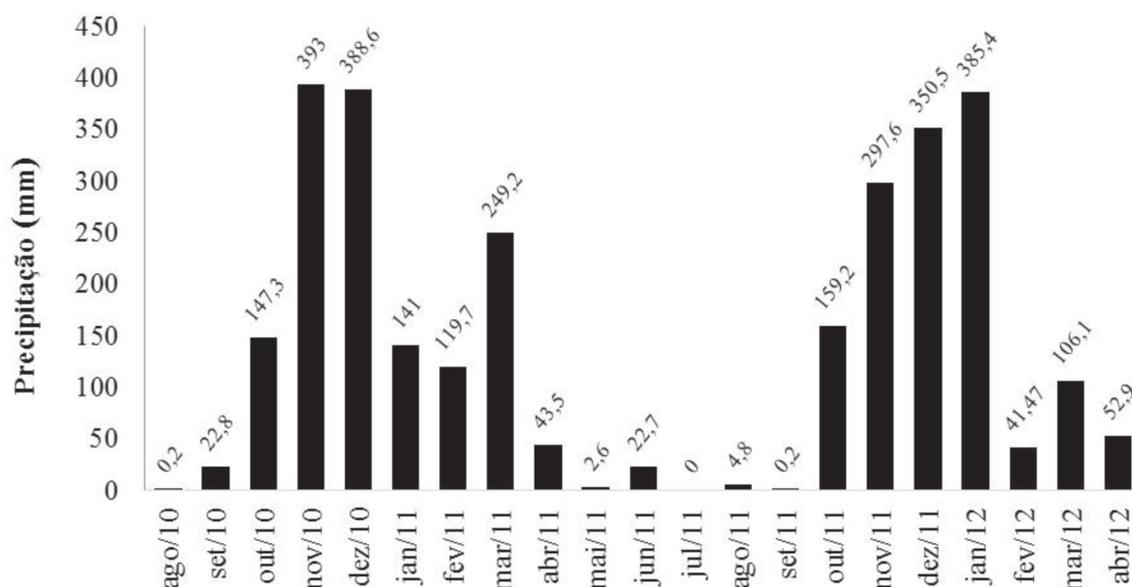


FIGURA 1 - Precipitação acumulada (mm) no período da coleta de folhas dos cafeeiros para avaliação dos conteúdos de B, Cu e Zn.

TABELA 2 - Teores de boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn) ($\mu\text{g g}^{-1}$) nas folhas índice de cafeeiros nos anos de 2010 e 2011 e os coeficientes de variação (CV)¹.

Tratamentos ²	2010			2011		
	B	Cu	Zn	B	Cu	Zn
TEST	25,0b	9,7b	6,3b	27,9b	5,2b	4,4b
PF	35,7a	13,8a	9,6a	28,6b	13,1a	7,5a
CB	35,9a	11,7a	9,7a	49,9a	13,0a	6,6a
CZn	26,4b	13,1a	10,7a	38,9b	10,4a	11,5a
CCu	29,6b	16,8a	10,0a	36,9b	18,8a	6,6a
BZnCu	24,3b	16,3a	9,8a	75,5a	16,9a	9,7a
CV%	10,54	7,18	6,66	18,26	7,08	12,80

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). ²TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxiclureto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Santinato, Caione e Prado (2013) também verificaram que apesar dos teores foliares dos cafeeiros terem atingido níveis de toxicidade, as plantas não apresentaram sintomas visuais, embora a produtividade do cafeeiro tenha sido afetada. Já o fornecimento desse nutriente via pulverização foliar parece não ter sido eficiente nesse mesmo ano. Malavolta (1986) afirma

que, para aumentar o teor do elemento na folha, a aplicação de B no solo é mais eficiente que a pulverização foliar, o que pode ser explicado pela dificuldade em se remover o B retido na cutícula foliar e pela baixa mobilidade deste elemento no floema. Tal comportamento é confirmado quando analisa-se o conteúdo de B nas folhas jovens ao longo do primeiro ano (Tabela 3).

TABELA 3 - Conteúdo de boro (μg) em folhas jovens de cafeeiros dos 41 aos 704 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV)¹.

	Dias após a implantação do experimento													
	41	60	94	121	173	318	365	411	431	459	480	508	541	704
TEST ²	10,1b	7,8b	11,4a	14,9b	11,8a	11,1a	8,5b	4,3a	8,7a	9,8a	4,2a	6,0a	3,4a	2,0a
PF	17,2a	8,2b	16,5a	19,5b	17,4a	9,8a	7,3b	5,2a	8,0a	10,5a	3,8a	5,4a	4,3a	2,4a
CB	8,3b	17,5a	14,7a	31,8a	13,1a	15,3a	11,9a	5,0a	8,3a	8,4a	4,2a	4,5a	5,8a	2,5a
CZn	11,1b	6,7b	11,2a	26,1b	17,1a	14,0a	7,6b	4,9a	8,6a	9,4a	4,7a	4,6a	4,2a	1,7a
CCu	10,4b	7,4b	12,6a	28,6b	19,1a	13,9a	8,1b	4,7a	7,6a	10,3a	3,8a	4,6a	4,4a	2,2a
BZnCu	4,1a	12,3a	15,5a	54,4a	16,8a	14,3a	13,5a	4,6a	8,4a	10,7a	4,3a	5,7a	3,5a	2,4a
CV%	27,0	20,3	32,5	32,5	35,6	30,9	11,6	17,1	12,9	20,5	17,4	16,7	24,5	22,5

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). ²TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxiclóreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Um dos sintomas da deficiência de B, Cu e Zn é a diminuição da área foliar (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; LIMA et al., 2013; SANTOS et al., 2009), logo, a apresentação dos resultados como conteúdo de micronutrientes por folha, dá melhor informação da disponibilização destes, evitando o erro de diluição, que ocorre quando a taxa de crescimento relativo da matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente. Os elementos estudados têm por característica baixa mobilidade no floema. Desta forma, para avaliação dos conteúdos foram utilizadas folhas jovens.

No início do período experimental (41 dias), somente os conteúdos de B, Cu e Zn nas folhas jovens dos tratamentos pulverizados foram superiores à testemunha, assinalando uma maior rapidez dessa via na correção da deficiência (Tabelas 3, 4 e 5). Entretanto, são necessárias reaplicações ao longo do período em função da baixa mobilidade desses elementos no floema.

Nas coletas de folhas realizadas no período dos 60 aos 120 dias o fruto encontrava-se na fase de crescimento denominada chumbinho. A primeira floração dos cafeeiros ocorreu aos 55 dias após início do experimento. A duração da fase de crescimento do fruto denominada chumbinho é de aproximadamente 66 dias após a floração (LAVIOLA et al., 2007). Essa é caracterizada pelo aumento da demanda por B, Zn e Cu pelos frutos em formação em detrimento das folhas jovens, o que explica a semelhança dos conteúdos desses micronutrientes nos tratamentos testados com o tratamento testemunha (Tabelas 3, 4 e 5). Somente os tratamentos onde o B foi fornecido por meio da inserção de comprimidos no tronco dos cafeeiros diferenciaram-se do tratamento testemunha (Tabela 3). A quantidade de B fornecida pelos comprimidos foi suficiente para suprir a demanda dos frutos e ainda manter teores elevados nas folhas.

Próximo ao período de crescimento suspenso do grão, aos 173 dias após a implantação do experimento, os conteúdos de Cu e Zn diferiram da testemunha (Tabelas 4 e 5). Apenas o tratamento onde os três nutrientes foram fornecidos juntos, via comprimido, foi semelhante à testemunha. É possível que tenha ocorrido interações entre os micronutrientes. O elevado teor de B pode ter ocasionado a deficiência de Zn (RAJAIE et al., 2009) ou pode ter ocorrido interações entre os micronutrientes catiônicos, Zn e Cu (UPADHYAY; PANDA, 2010; ZABINI et al., 2008) comprometendo a eficiência do comprimido BZnCu no fornecimento desses elementos.

TABELA 4 - Conteúdo de cobre (μg) em folhas jovens de cafeeiros dos 41 aos 704 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV)⁽¹⁾.

	Dias após a implantação do experimento													
	41	60	94	121	173	318	365	411	431	459	480	508	541	704
TEST ²	3,6b	6,8a	7,1a	3,9a	1,4b	3,9a	3,8a	1,5a	0,5a	0,7b	1,2a	1,2a	0,4a	1,0a
PF	6,1a	8,0a	7,7a	4,9a	2,5a	5,5a	3,3a	1,8a	0,5a	3,1a	0,9a	1,7a	0,7a	1,5a
CB	4,3b	6,4a	4,6a	4,6a	2,5a	4,5a	3,6a	1,7a	0,4a	2,5a	1,0a	1,3a	0,7a	1,1a
CZn	3,8b	6,1a	4,9a	19,7a	2,8a	5,3a	6,2a	1,7a	0,3a	3,0a	4,0a	1,2a	0,7a	1,2a
CCu	3,4b	5,6a	6,6a	6,3a	2,4a	6,4a	4,7a	3,5a	0,5a	3,1a	1,1a	5,7a	1,1a	1,2a
BZnCu	2,8b	5,8a	5,2a	6,1a	1,7b	3,7a	4,0a	1,7a	0,5a	2,8a	1,0a	3,7a	0,6a	1,0a
CV%	20,8	22,18	31,7	164,0	25,5	38,6	30,0	55,3	46,6	23,3	126,9	176,4	79,8	14,3

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). ²TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicleto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

TABELA 5 - Conteúdo de zinco (μg) em folhas jovens de cafeeiros dos 41 aos 704 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV)⁽¹⁾.

	Dias após a implantação do experimento													
	41	60	94	121	173	318	365	411	431	459	480	508	541	704
TEST ²	3,9b	4,5a	5,2a	1,0a	2,9b	3,2b	5,3a	1,7a	1,9a	1,8b	1,7a	1,7a	1,2b	1,0a
PF	6,4a	5,0a	5,9a	3,6a	5,1a	4,6b	5,5a	1,8a	1,7a	2,3b	1,7a	1,9a	1,5b	1,5a
CB	5,6b	3,9a	3,7a	2,4a	4,9a	3,6b	5,7a	1,8a	1,8a	1,9b	1,8a	1,6a	1,7b	1,1a
CZn	4,6b	4,0a	3,8a	2,0a	5,4a	4,2b	6,0a	1,9a	1,9a	2,5a	2,0a	1,2a	1,4b	1,2a
CCu	3,9b	4,1a	4,4a	3,5a	6,2a	6,2a	5,5a	1,9a	1,6a	2,2b	1,7a	1,8a	2,3a	1,2a
BZnCu	3,3b	3,7a	3,7a	3,6a	4,3b	2,9b	5,4a	1,8a	1,8a	2,1b	2,0a	1,8a	1,3b	1,0a
CV%	23,2	20,1	40,5	53,8	24,0	29,8	20,0	19,6	10,2	13,8	22,4	17,2	20,2	14,3

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). ²TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicleto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Em geral, nas coletas aos 318, 365, 411 e 431 dias após o início do experimento, os conteúdos de B, Cu e Zn nas folhas jovens dos tratamentos que receberam esses micronutrientes não diferiram da testemunha (Tabelas 3, 4 e 5). Estas coletas foram realizadas na estação seca, caracterizada pela baixa precipitação (Figura 1). Nesse período não há fornecimento de micronutrientes via pulverização foliar e o suprimento, desses elementos, via inserção de comprimidos no tronco torna-se limitado. Os nutrientes se movem na planta, do ponto de inserção até as folhas, impulsionados pela corrente transpiratória (FERNÁNDEZ DE CORDOVA; GALLEGO, 1997), portanto, a menor disponibilidade de água diminui a liberação do nutriente pelo comprimido.

A partir de 480 até 704 dias após a implantação do experimento não há diferença entre os tratamentos e a testemunha, indicando uma possível exaustão das doses de micronutrientes veiculadas pelos comprimidos, portanto, sendo necessárias novas pesquisas objetivando o aumento do período de liberação (Tabelas 3, 4 e 5).

3.2 Produtividade de grãos

Na espécie *Coffea arabica* as inflorescências ocorrem nos ramos plagiotrópicos crescidos no ano anterior, logo na primeira avaliação da produtividade, ano agrícola (2010/2011), não foram observados efeitos dos tratamentos nos cafeeiros avaliados (Tabela 6). No ano agrícola 2011/2012 também não foram verificadas diferenças significativas. Entretanto, no ano seguinte, 2012/2013, ambos os fornecimentos, foliar e via comprimidos, foram eficientes no suprimento de B, Cu e Zn promovendo maiores valores de produtividade quando comparados com a testemunha, evidenciando o êxito dos comprimidos no fornecimento desses micronutrientes (Tabela 6). Poltronieri, Martinez e Cecon (2011) avaliaram o fornecimento de Zn a cafeeiros por meio da inserção desse elemento no ramo ortotrópico e também verificaram aumento na produtividade de grãos.

Contudo, no tratamento onde B, Cu e Zn foram fornecidos juntos via comprimidos inseridos no tronco, a produtividade de grãos não diferiu da testemunha. É provável que tenha ocorrido excessiva liberação de B por esse comprimido levando os teores a níveis tóxicos com consequente diminuição da produção, apesar de não terem sido observados sintomas (Tabelas 2 e 6).

TABELA 6 - Produtividade de grãos de café em sacas beneficiados por hectare nos anos agrícola de 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 e os coeficientes de variação (CV)¹.

Tratamentos ²	2010/2011	2011/2012	2012/2013	Média das três produtividades
TEST	52,19a	64,15a	36,46b	50,93a
PF	46,80a	77,46a	67,45a	63,90a
CB	56,75a	56,77a	83,94a	65,82a
CZn	55,21a	73,98a	67,86a	66,64a
CCu	54,65a	80,23a	64,79a	68,57a
BZnCu	50,17a	55,03a	53,73b	52,98a
CV%	20,03	31,90	27,49	16,48

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). ²TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxiclreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Quando avaliadas as médias das produtividades dos três anos agrícolas verifica-se que não houve diferenças entre os tratamentos estudados.

Ambas as vias, pulverização foliar e inserção de comprimidos no tronco, são eficientes no suprimento de B, Cu e Zn ao cafeeiro, indicando que o comprimido é uma alternativa no suprimento desses micronutrientes. Entretanto, há a necessidade de pesquisas futuras visando o suprimento, de nutrientes pelos comprimidos, por um período de tempo maior.

4 CONCLUSÕES

O uso dos comprimidos com sais de B, Cu e Zn inseridos no ramo ortotrópico do cafeeiro é uma alternativa de suprimento desses elementos, se fornecidos separadamente e para as condições em que foi realizado o experimento;

A produtividade de grãos de café aumenta a partir da terceira colheita após a implantação dos comprimidos de B, Cu e Zn no ramo ortotrópico do cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro e bolsas concedidas.

6 REFERÊNCIAS

ABDI, G. H.; HEDAYAT, M. Yield and fruit physiochemical characteristics of 'Kabkab' date palm as affected by methods of potassium fertilization. **Advances in Environmental Biology**, Amman, v. 4, p. 437-442, 2010.

BROADLEY, M. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, Lancaster, v. 173, p. 677-702, 2007.

CHOUDHARY, S. P. et al. Interaction of brassinosteroids and polyamines enhances copper stress tolerance in *Raphanus sativus*. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 63, p. 5659-5675, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custo de produção:** culturas permanentes/café arábica_serie_2003 a 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1556&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 25 jan. 2016.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

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

FERNÁNDEZ DE CORDOVA, J.; GALLEGO, F. J. Control de la cochinilla de la encina (*Asterolecanium ilicicola*, Targioni, 1892) mediante la inyección de insecticidas al tronco del árbol. **Boletín de Sanidad Vegetal - Plagas**, Madrid, v. 23, p. 607-612, 1997.

GONTIJO, R. A. N.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G. Crescimento e teor foliar de nutrientes em cafeeiro decorrente da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, p. 124-132, 2008.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

GUO, X. Y. et al. Toxicity and accumulation of copper and nickel in maize plants cropped on calcareous and acidic field soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 333, p. 365-373, 2010.

HENRIQUES, A. R.; CHALFUN-JUNIOR, A.; AARTS, M. Strategies to increase zinc deficiency tolerance and homeostasis in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 3-8, 2012.

LANA, R. M. Q. et al. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1147-1156, 2010.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1439-1449, 2007.

LIMA, A. D. et al. Adubação borácica na cultura do girassol. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 7, p. 269-276, 2013.

- LOPES, C. et al. Adsorção de cobre em Latossolo Bruno e Nitossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 13, n. 1, p. 56-63, 2014.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. E. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 165-274.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MANTOVANI, J. P. M.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Adubação foliar de boro em diferentes estádios fenológicos da cultura do amendoim. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 270-278, 2013.
- MARTÍNEZ, C. E.; MOTTO, H. L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. **Environmental Pollution**, New York, v. 107, p. 153-158, 2000.
- MARTINEZ, H. E. P. et al. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. Viçosa, MG: EPAMIG, 2004. 60 p. (Boletim Técnico, 72).
- MARTINEZ, H. E. P.; POLTRONIERI, Y.; CECON, P. R. Supplying zinc salt tablets increased zinc concentration and yield of coffee trees. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 38, p. 1073-1082, 2015.
- OLIVEIRA, L. F. C. et al. Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 776-782, 2010.
- POLTRONIERI, Y.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Effect of zinc and its form of supply on production and quality of coffee beans. **Journal of Science and Food Agriculture**, Chichester, v. 91, p. 2431-2436, 2011.
- RAJAIE, M. et al. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in a calcareous soil. **International Journal of Plant Production**, Gorgan, v. 3, p. 39-50, 2009.
- ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 477-483, 2007.
- SANTOS, H. et al. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos: I., crescimento vegetativo e produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 125-130, 2009.
- SARTORI, R. H. et al. Absorção radicular e foliar de ⁶⁵Zn e sua redistribuição em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 523-527, 2008.
- SATINATO, F.; CAIONE, G.; PRADO, R. M. Toxicidade de boro em cafeeiro arábica, em fase de formação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2013. 1 CD-ROM.
- SHAABAN, M. M. Injection fertilization: a full nutritional technique for fruit trees saves 90-95% of fertilizers and maintains a clean environment. **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology**, Kita-Gun, v. 3, p. 22-27, 2009.
- TARIQ, M. et al. Effect of foliar application on the yield and quality of sweet orange (*Citrus sinensis* L.). **Pakistan Journal Biological Sciences**, Karachi, v. 10, p. 1823-1828, 2007.
- UPADHYAY, R.; PANDA, S. K. Zinc reduces copper toxicity induced oxidative stress by promoting antioxidant defense in freshly grown aquatic duckweed *Spirodela polyrhiza* L. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 175, p. 1081-1084, 2010.
- YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 36, p. 409-430, 2009.
- ZABINI, A. V. et al. Concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) eficientes no uso de zinco. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 95-103, 2008.