

# CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE CAFÉ EM RESPOSTA A DOSES CONTRASTANTES DE ZINCO

Adriene Woods Pedrosa<sup>1</sup>, Hermínia Emilia Prieto Martinez<sup>2</sup>, Cosme Damião Cruz<sup>3</sup>, Fábio Murilo DaMatta<sup>4</sup>, Junia Maria Clemente<sup>5</sup>

(Recebido: 23 de maio de 2012; aceito: 22 de novembro de 2012)

**RESUMO:** O fornecimento de zinco interfere no crescimento, desenvolvimento e produtividade do cafeeiro e as cultivares de café diferem em suas respostas à disponibilidade do nutriente no solo. Objetivou-se, neste trabalho, identificar a tolerância diferencial de cultivares de *Coffea arabica* à deficiência de zinco, verificar como se dá a partição do nutriente nos órgãos da planta sob baixo e alto suprimento e discriminar que características de crescimento passíveis de serem avaliadas precocemente se correlacionam à tolerância ao baixo suprimento do nutriente. Mudanças de 11 cultivares de cafeeiro foram cultivadas por oito meses em solução nutritiva nas concentrações de 0,0 e 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn. Determinaram-se diâmetro do caule, altura de planta, número de ramos plagiotrópicos, volume de raiz, número de folhas, área foliar e produção de massa seca. Concluiu-se que há variabilidade de resposta de cultivares de cafeeiro ao suprimento de zinco, sendo as cultivares San Ramon, IPR-102 e Rubi, dentre as estudadas, as mais tolerantes à restrição no seu fornecimento e a cultivar São Bernardo a menos tolerante às baixas doses de Zn. Em condições de suprimento adequado ou elevado de zinco esse se acumula em raízes e caules, que podem servir como órgãos de reserva do nutriente, enquanto que em condições de deficiência há maiores concentrações em folhas apicais. A produção de massa total é uma característica de maior importância relativa na discriminação das cultivares quanto à resposta ao suprimento do nutriente.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica* L., micronutrientes, absorção, translocação.

## GROWTH OF VARIETIES OF COFFEE IN RESPONSE TO CONTRASTING DOSES OF ZINC

**ABSTRACT:** Providing zinc to coffee plants interferes with the growth, development and productivity, and coffee varieties differ in their responses to nutrient availability in soil. This study aimed to identify the differential tolerance of cultivars of *Coffea arabica* to the lack of Zn, verify how does the partition of zinc contents occur in the plant organs in low and high supply of it and indicate easy measure characteristics of the plant well correlated with tolerance to low zinc supply. Nursery plants of 11 cultivars of *C. arabica* were grown for eight months in nutritive solution with concentrations of 0,0 and 6,0  $\text{mmol L}^{-1}$  Zn. Stem diameter, plant height, number of primary branches, root volume, leaf number, leaf area and dry weight were determined. There is variability in the response of the coffee cultivars to the supply of Zn, and among the cultivars studied San Ramon, IPR-102 and Rubi were the most tolerant to the restriction in Zn supply, whereas the 'São Bernardo' was the less tolerant to low Zn dose. In adequate or high supply this nutrient accumulates in roots and stems, which can serve as the nutrient reserve organs. In conditions of lack of the nutrient the apical leaves are the preferred accumulation organ. The total dry weight accumulation proved to be the characteristic of greater relative importance in the discrimination of the varieties studied.

**Index terms:** *Coffea arabica* L., micronutrients, uptake, translocation.

## 1 INTRODUÇÃO

A deficiência de zinco (Zn) pode comprometer a produtividade de uma cultura por interferir no crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Nas plantas, o Zn age como componente metálico de enzimas ou como cofator de inúmeras delas. Possui também função de ativador enzimático por participar do metabolismo de carboidratos,

proteínas, triptofano e ácido indol-acético (MARSCHNER, 1995).

Plantas deficientes em Zn possuem menor atividade da enzima dismutase do superóxido (SOD), o que proporciona a elevação dos processos oxidativos, que peroxidam os lipídeos das membranas, favorecendo o extravasamento de eletrólitos, isso é, perda de compartimentação celular, causando assim, a clorose e necrose, degradação do ácido indolacético (AIA) e

<sup>1</sup>Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ-USP - Doutorado pelo Departamento de Produção Vegetal - Fitotecnia - Avenida Pádua Dias, 11 Cx. P. 9 - 13.418-900 - Piracicaba, SP - awoodsp74@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Fitotecnia - Avenida PH Rolfs - 36.570-000 - Viçosa, MG - herminia@ufv.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Biologia Vegetal - Avenida PH Rolfs - 36.570-000 - Viçosa, MG - cdcruz@ufv.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Biologia Vegetal - Avenida PH Rolfs - 36.570-000 - Viçosa, MG - fdamatta@ufv.br

<sup>5</sup>Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Fitotecnia - Avenida PH Rolfs - 36.570-000 - Viçosa, MG - junia.clemente@yahoo.com.br

consequentemente a inibição do crescimento dos brotos novos e dos internódios. Em cafeeiro, a deficiência de Zn ocasiona o surgimento de sintomas em folhas novas que ficam pequenas e deformadas, tornando-se quebradiças e com aspecto coriáceo. Os ramos apresentam um reduzido número de folhas e internódios, com surgimento de uma roseta de folhas pequenas na extremidade do ramo (MALAVOLTA, 2006). Em casos extremos de deficiência, pode ocorrer seca de ponteiros e superbrotamento, frutos menores e produção reduzida.

Há uma grande diversidade entre espécies e cultivares em relação ao requerimento de Zn, e sua concentração ótima no tecido vegetal seco varia de 20 a 120 mg.kg<sup>-1</sup> (MARSCHNER, 1995). Espécies e cultivares apresentam respostas diferenciadas à disponibilidade de nutrientes no solo, devido às diferentes exigências e diferentes capacidades de absorção, translocação e utilização dos nutrientes (FAGERIA, 1998). Nesse sentido, as espécies e cultivares podem ser agrupadas em eficientes e ineficientes considerando-se a capacidade de produzir massa seca por unidade de nutriente fornecido. A maior eficiência das cultivares, em termos de absorção de nutrientes do solo, pode ser atribuída a fatores relacionados à função e estrutura radicular, incluindo características morfológicas, bem como mecanismos bioquímicos responsáveis pela absorção e transferência de íons nas membranas das células radiculares (AHMAD; GILL; QURESHI, 2001). Como a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes apresentam controle genético, há a possibilidade de selecionar cultivares mais eficientes quanto à utilização de um nutriente determinado. No entanto, para plantas perenes, a discriminação de características correlacionadas à resposta diferencial ao suprimento de um dado nutriente reveste-se de grande importância, por permitir a avaliação e seleção precoces de um genótipo desejável.

Em solos com baixa disponibilidade de Zn, os genótipos tolerantes à sua deficiência se desenvolvem melhor do que os sensíveis. Embora os mecanismos fisiológicos responsáveis por esse comportamento não sejam completamente entendidos (RENGEL; RÖMHELD; MARSCHNER, 1998), a constatação de tais diferenças é de grande interesse econômico, por permitir alocar cultivares menos exigentes para solos mais pobres em Zn e/ou indicar adubações mais intensas com esse nutriente, se cultivares mais exigentes forem escolhidas.

Este trabalho teve como objetivo identificar a tolerância diferencial de cultivares de *Coffea arabica* L. à deficiência de zinco por meio da avaliação do crescimento e produção de massa seca em condições contrastantes de suprimento do elemento, verificar como se dá a partição do nutriente nos órgãos da planta sob baixo e alto suprimento e discriminar que características de crescimento passíveis de serem avaliadas precocemente se correlacionam à tolerância ao baixo suprimento de Zn.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período de fevereiro a outubro de 2007. As cultivares de café estudadas foram: Acaia Cerrado MG-1474 (1), Caturra Amarelo IAC-476 (2), Catucaí Vermelho 785-15 (3), IPR-102 (4), Oeiras MG-6851 (5), Paraíso MGH-419-1 (6), Rubi MG-1192 (7), San Ramon (8), São Bernardo (9), Topázio MG-1190 (10) e Tupi IAC 1669-33 (11).

As sementes foram germinadas em areia, irrigadas com água deionizada e transplantadas para bandejas contendo solução nutritiva de Clark, a ¼ de força, inclusive zinco. Após adaptação as plantas foram transplantadas para vasos de oito litros contendo solução de Clark modificada segundo Martinez (2005), sendo o zinco fornecido nas concentrações de 0,0 e 6,0 µmol L<sup>-1</sup>. O experimento constituiu-se de um esquema fatorial 11 x 2 (onze cultivares e duas concentrações de Zn), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

As soluções-estoque de macronutrientes e cloreto férrico foram purificadas segundo método descrito por Martinez e Clemente (2011). A solução foi aerada com ar comprimido, o pH ajustado a 5,0 e a troca da solução nutritiva realizada mediante o critério de 30% de depleção da condutividade elétrica inicial.

Ao final do experimento avaliaram-se o diâmetro do caule (DC), altura de planta (ALT), número de ramos plagiotrópicos (NRP), volume de raiz (VR), número de folhas (NF): apicais (NFA), recém-maduras (NFRM), inferiores (NFI) e total (NFT); área foliar de folhas: apicais (AFFA), recém-maduras (AFFRM), inferiores (AFFI) e total (AFT). Todo material vegetal foi lavado em água deionizada, seco em estufa a 70 °C por 72 horas, obtendo-se em seguida a massa seca das folhas apicais (MSFA), folhas recém-maduras

(MSFRM), folhas inferiores (MSFI), caules (MSC), raízes (MSR) e total (MST). O material vegetal seco foi moído e submetido a digestão nítrico-perclórica, sendo o Zn total dosado por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2010). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F, e as médias comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Foi realizado também o desdobramento das interações independentemente da significância.

Para agrupar as cultivares em pouco tolerantes, medianamente tolerantes e tolerantes à deficiência de zinco todos os dados foram transformados em percentual relativo ao obtido com a dose 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Zn e submetidos à análise estatística multivariada. As variáveis relativizadas estão representadas da seguinte maneira: massa seca relativa das folhas apicais (MSRFA), folhas recém-maduras (MSRFRM), folhas inferiores (MSRFI), caule (MSRC), raiz (MSRR) e total (MSRT); área foliar relativa das folhas apicais (AFRFA), recém-maduras (AFRFRM), inferiores (AFRFI) e total (AFRT); número relativo de folhas apicais (NRFA), recém maduras (NRFRM),

inferiores (NRFI) e total (NRFT); diâmetro do caule relativo (DCR); altura de planta relativa (ALTR); volume relativo de raiz (VRR) e número relativo de ramos plagiotrópicos (NRRP).

O método multivariado com base nas variáveis canônicas foi utilizado para identificação e agrupamento das cultivares. Na análise multivariada de agrupamento aplicou-se distância de Mahalanobis, entre pares de cultivares, destinados à análise de agrupamento pelo método de Tocher (CRUZ, 2006).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sintomas severos de deficiência de zinco forma observados no final do período experimental, e também diferenças significativas nas características de crescimento das cultivares estudadas com omissão ou fornecimento de Zn. No entanto, não foram observadas diferenças significativas para MSFRM, MSR e MST com fornecimento de 0,0 ou 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn. No entanto, em decorrência das maiores produções de MSFA e MSFRM a cultivar IPR-102 apresentou, nas duas doses de Zn, as maiores médias de produção de MST. A cultivar também apresentou as maiores médias na dose de 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn para as produções de MSC e MSR (Tabelas 1 e 2).

**TABELA 1** – Média da produção de massa seca nas folhas apicais (MSFA), folhas recém-maduras (MSFRM) e folhas inferiores (MSFI) de onze cultivares de cafeeiro em resposta a duas concentrações de Zn em solução nutritiva.

CULTIVARES	MASSA SECA (g)					
	MSFA		MSFRM		MSFI	
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0
$\mu\text{mol L}^{-1}$						
Acaia Cerrado	1,61 Aab	1,85 Abcd	6,03 Aabc	5,75 Abc	2,51 Aab	2,97 Aabcd
Caturra Amarelo	1,07 Bbc	2,24 Aabc	6,20 Aabc	8,02 Aab	2,76 Aa	3,18 Aab
Catucaí Vermelho	1,29 Babc	2,32 Aabc	6,94 Aab	6,00 Abc	2,89 Aa	2,49 Aabcd
IPR-102	1,95 Ba	2,91 Aa	8,86 Aa	10,07 Aa	2,16 Bab	3,36 Aa
Oeiras	1,38 Aabc	1,91 Abcd	5,31 Abcd	5,67 Abc	2,40 Aab	2,68 Aabcd
Paraíso	0,76 Bbc	1,89 Abcd	4,14 Abcd	5,34 Abc	2,06 Bab	3,02 Aabc
Rubi	1,31 Aabc	1,74 Abcd	5,52 Abcd	6,09 Abc	3,08 Aa	2,27 Abcd
San Ramon	0,65 Ac	1,33 Ad	2,93 Ad	3,42 Ac	1,50 Ab	1,94 Ad
São Bernardo	0,90 Abc	1,51 Acd	3,51 Acd	5,19 Abc	2,23 Aab	2,03 Acd
Topázio	1,38 Babc	2,16 Aabcd	5,15 Abcd	7,25 Aab	2,61 Aa	2,69 Aabcd
Tupi	1,41 Babc	2,51 Aab	6,41 Aabc	7,79 Aab	2,84 Aa	3,42 Aa
Média	1,25	2,03	5,58	6,42	2,46	2,73
CV (%)	26,73		25,01		20,97	

\* As médias seguidas de mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% probabilidade.

**TABELA 2** – Média da produção de massa seca dos caules (MSC), das raízes (MSR) e total (MST) de onze cultivares de cafeeiro em resposta a duas concentrações de zinco em solução nutritiva.

CULTIVARES	MASSA SECA (g)					
	MSC		MSR		MST	
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0
$\mu\text{mol L}^{-1}$						
Acaiá Cerrado	5,05 Aabc	5,44 Aab	3,70 Aa	3,22 Aab	18,89 Aab	19,25 Abc
Caturra Amarelo	4,02 Aabcd	4,84 Aab	5,52 Aa	4,42 Aab	18,58 Aab	22,69 Aab
Catucaí Vermelho	2,40 Abcd	4,53 Aabc	2,17 Aa	3,47 Aab	18,71 Aab	18,80 Abc
IPR-102	5,69 Aab	5,91 Aa	4,62 Aa	5,41 Aa	23,28 Aa	27,66 Aa
Oeiras	3,31 Aabcd	3,63 Aabc	3,68 Aa	3,27 Aab	16,08 Aabc	17,13 Abcd
Paraíso	2,36 Acd	3,44 Aabc	4,01 Aa	4,60 Aab	13,33 Abc	18,29 Abcd
Rubi	6,46 Aa	2,49 Bbc	4,87 Aa	3,15 Aab	21,29 Aa	15,74 Abcd
San Ramon	1,15 Ad	1,48 Ac	2,88 Aa	2,38 Ab	9,11 Ac	10,56 Ad
São Bernardo	1,99 Acd	2,51 Abc	3,15 Aa	2,81 Ab	11,79 Abc	14,05 Acd
Topázio	3,23 Aabcd	4,34 Aabc	3,81 Aa	3,48 Aab	16,49 Aabc	19,92 Aabc
Tupi	3,61 Aabcd	4,25 Aabc	3,41 Aa	3,76 Aab	17,56 Aab	21,73 Aabc
Média	3,57	3,89	3,98	3,63	16,85	18,71
CV (%)	45,71		32,33		22,53	

\* As médias seguidas de mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% probabilidade.

As menores médias de produção de MST, MSFA, MSFRM, MSFI e MSC nas doses de 0,0 e 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn foram apresentadas pela cultivar San Ramon (Tabelas 1 e 2).

Apesar de não ter sido observada diferença estatística entre as cultivares para a produção de MST, a cultivar Rubi foi a que apresentou menor produção de MST, quando cultivada em solução com 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de zinco, o que causou uma redução de 26,07% na produção média de MST. Tal fato indica que a dose de 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de zinco pode ser excessiva para essa cultivar. O maior desenvolvimento na dose 0,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  evidencia sua adaptação a baixas doses de zinco no meio de cultivo (Tabelas 1 e 2). A cultivar Rubi também apresentou maiores produções de MSFI e de MSC na dose de 0,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de zinco, além de aumentos consideráveis na AFFRM e de AFFI (Tabela 3). Esses dados corroboram com os obtidos por Amaral et al. (2011a) que observou que a cultivar Rubi MG 1192 é mais eficiente no uso do Zn para produção de folhas do que as cultivares Catuaí Vermelho IAC-99, Icatu Amarelo IAC-3282 e Acaiá IAC 474-19 quando cultivada em baixo nível de fertilização, ou seja, produziu mais gramas de folha para cada mg de Zn alocada nesse órgão.

Alta disponibilidade de Zn pode causar efeitos de toxidez em plantas não tolerantes e os sintomas são diminuição do sistema radicular e do tamanho das folhas, e conseqüentemente diminuição na produção de massa seca na planta (ADRIANO; PAULSEN; MURPHY, 1971). Uma das causas para a redução da produção de massa seca em plantas com excesso de Zn é o acúmulo de calose contida no xilema, o que dificulta a ascensão da seiva (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O Zn e Mn, juntamente com o Fe participam da síntese de clorofila e em condições de deficiência desses nutrientes pode haver redução do crescimento e desenvolvimento da planta.

Avaliando-se a área foliar não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para AFFRM, com exceção da cultivar IPR-102. Já para as variáveis AFFA e AFFI verificaram-se diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 3).

Quando se forneceu 0,0 e 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn, a cultivar San Ramon foi a que apresentou as menores médias de AFFA, AFFRM, AFFI e AFT (Tabela 3). Além de apresentar as menores médias de NFA, de NFRM e de NFT (Tabela 4), resultados que confirmam os obtidos para produção de massa

seca (Tabelas 1 e 2). A cultivar IPR-102 foi a que apresentou as maiores médias de AFFA, de AFFRM e AFT, quando cultivada nas doses de 0,0 e 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn (Tabela 3); tais resultados também reforçam os observados para produção de massa seca (Tabelas 1 e 2). Essa mesma cultivar apresentou aumento no NFRM quando o cultivo foi realizado com omissão de Zn, corroborando uma possível sensibilidade à dose de 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  do elemento.

Ao se avaliar o desenvolvimento das plantas nas duas doses de Zn verifica-se que o NRP foi reduzido por baixa disponibilidade de Zn apenas nas cultivares Caturra Amarelo, Paraíso e San Ramon e que não ocorreram diferenças significativas para DC, ALT e para VR. No entanto, observa-se tendência à redução no diâmetro médio do caule em parte das cultivares estudadas, incluindo a cultivar Rubi, para a qual todas essas variáveis apresentaram valores numéricos mais elevados com o cultivo em 0,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (Tabela 5). Em experimento de campo, com adubação anual de 325 kg ha<sup>-1</sup> de N, 16 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 260 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e uma pulverização com 0,56 g L<sup>-1</sup> de sulfato

de Zn (NEVES et al., 2006) as cultivares Rubi MG 1192 e IAC 99 apresentaram maior relação g<sup>2</sup> de frutos produzidos por  $\mu\text{g}$  de Zn acumulado na planta que as cultivares Acaia IAC 474-19 e Icatu Amarelo IAC3282, o que indica a superioridade da cultivar Rubi na eficiência de uso do nutriente e justifica, ao menos parcialmente, seu melhor desempenho em disponibilidade limitada de Zn (AMARAL et al., 2010, 2011b).

Martinez et al. (2011) observaram que a restrição no fornecimento de zinco reduziu o diâmetro do caule para as progênies Caturra Amarelo 3, UFV 4066-3 e Caturra Vermelho 2, e incrementou essa variável nas progênies Tupi e Caturra Vermelho 3. Em tais condições houve redução na altura de planta nas progênies Caturra Amarelo 3 e UFV 4066-3.

Os resultados de produção de massa seca do caule (MSC), área foliar (AF), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), altura de planta (ALT), volume de raízes (VR) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) indicam a diferenciação das cultivares estudadas quanto à exigência e sensibilidade a doses elevadas de Zn,

**TABELA 3** – Médias das áreas foliares das folhas apicais (AFFA), folhas recém-maduras (AFFRM), folhas inferiores (AFFI) e total (AFT) de onze cultivares de café, em resposta a duas concentrações de zinco em solução nutritiva.

VAR.*	ÁREA FOLIAR (cm <sup>2</sup> )							
	AFFA		AFFRM		AFFI		AFT	
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0
$\mu\text{mol L}^{-1}$								
1	175 Babc	317 Aabcd	872 Aabc	769 Aab	350 B	476 Aab	1399 Aab	1563 Aabc
2	132 Babc	383 Aab	834 Aabc	108 Aa	365 B	507 Aa	1332 Bab	1977 Aab
3	195 Babc	323 Aabcd	969 Aab	101 Aa	377 A	346 Abcd	1541 Aab	1689 Aabc
4	248 Ba	459 Aa	112 Aa	109 Aa	290 B	529 Aa	1668 Aa	2082 Aa
5	224 Aab	300 Abcd	719 Aabc	702 Aab	308 B	429 Aabcd	1253 Aabc	1431 Abcd
6	103 Babc	310 Abcd	518 Abc	623 Aab	291 B	462 Aabc	913 Abc	1397 Abcd
7	210 Aabc	296 Abcd	816 Aabc	795 Aab	403 A	360 Abcd	1430 Aab	1453 Aabcd
8	66 Bc	198 Ad	366 Ac	422 Ab	210 A	308 Ad	644 Ac	929 Ad
9	98 Bbc	222 Acd	536 Abc	664 Aab	296 A	337 Acd	931 Abc	1224 Acd
10	177 Babc	360 Aabc	761 Aabc	949 Aa	378 A	425 Aabcd	1317 Aab	1734 Aabc
11	143 Babc	361 Aabc	696 Aabc	959 Aa	364 B	500 Aa	1204 Babc	1821 Aabc
Média	161	321	747	826	330	425	1239	1573
CV (%)	30,82		34,04		18,71		23,05	

\* Cultivares: 1 Acaia Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio, 11 Tupi.

\*\* As médias seguidas de mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% probabilidade.

evidenciando o efeito tóxico nas cultivares IPR-102 e Rubi (Tabela 1, 2, 3, 4 e 5).

A deficiência de Zn provoca um desarranjo na síntese protéica (RNA) e redução do nitrato, inibe a RNAase (RNA desidrogenase), o que resulta em menor síntese de proteínas, o que dificulta a divisão celular, proporcionando menor tamanho de células e redução do comprimento das folhas e dos internódios (MALAVOLTA, 2006). Provavelmente, devido a esses efeitos as cultivares mais sensíveis à sua deficiência apresentaram maiores reduções na produção de massa seca.

Para as variáveis de crescimento avaliadas observou-se grande variabilidade de resposta às doses de Zn (Tabelas de 1 a 5). Devido ao grande número de variáveis estudadas, a interpretação dos resultados com base na análise da variância e em teste de médias dificulta a discriminação e classificação das cultivares quanto à sua tolerância a baixas ou altas doses de Zn e a definição da importância das características estudadas nessa distinção. Por essa razão os dados foram transformados em percentual relativo ao obtido com a dose 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Zn e submetidos à análise

estatística multivariada a fim de se agrupar as cultivares em pouco tolerantes, medianamente tolerantes e tolerantes a deficiência de zinco.

A análise dos dados pelo agrupamento das 11 cultivares de cafeeiro pelo método de Tocher, em função dos valores relativos das características de crescimento avaliadas, resultou na formação de três grupos. Quando se omitiu o fornecimento de Zn na solução nutritiva a cultivar São Bernardo (Grupo III) apresentou a menor MSRFA, o que representou uma redução de 82,56% da MSFA. A mesma cultivar apresentou também baixas produções relativas de MSRFRM, MSRT, AFRFA, NRFI e DCR, que representaram reduções na ordem de 32,24%; 17,01%; 55,82%; 22,22% e 9,81%, respectivamente. O comportamento dessa cultivar, quando se omitiu o fornecimento de Zn, confirma sua baixa tolerância a baixas doses do nutriente (Tabela 6). O grupo II, formado pelas cultivares IPR-102 e Rubi, apresentou incrementos nas produções relativas de MSRFI, MSRC, MSRR, AFRFRM, NRFA, NRFRM, NRFT, DCR e ALTR de 4,36%; 20,43%; 7,93%; 2,89%; 5,04%; 45,04%; 12,80%; 2,45%; e 6,76% respectivamente

**TABELA 4** – Médias dos números de folhas apicais (NFA), folhas recém-maduras (NFRM), folhas inferiores (NFI) e total (NFT), de onze cultivares de cafeeiros em resposta a duas doses de zinco.

VAR.*	NÚMERO DE FOLHAS							
	NFA		NFRM		NFI		NFT	
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0
	$\mu\text{mol L}^{-1}$							
1	18,83 Aab	16,83 Ab	13,50 Abc	12,67 Aabc	10,00 Aabc	12,67 Aab	42,17 Aabcd	42,17 Abc
2	13,50 Aab	34,00Aa	10,17 Bcd	17,83 Aa	11,33 Aab	14,83 Aa	35,00 Abcde	66,50 Aa
3	18,33 Aab	19,00 Ab	18,00 Ab	13,00 Aabc	13,00 Aa	7,50 Bc	49,33 Aab	39,50 Abc
4	19,67 Aa	19,83 Ab	27,00 Aa	17,67 Ba	8,83 Aabc	10,83 Aabc	55,50 Aa	48,33 Ab
5	12,33 Aab	14,17 Ab	9,83 Acd	10,67 Abc	8,33 Abc	9,33 Ac	30,50 Ade	34,17 Abc
6	12,00 Aab	15,00 Ab	9,17 Acd	12,00 Aabc	13,00 Aa	12,83 Ab	34,17 Acde	39,83 Abc
7	17,00 Aab	15,33 Ab	15,33 Abc	11,17 Aabc	10,50 Aabc	12,17 Ab	42,83 Aabcd	38,67 Abc
8	10,33 Ab	13,83 Ab	5,67 Ad	7,00 Ac	8,33 Abc	9,67 Ac	24,33 Ae	30,50 Ac
9	14,83 Aab	15,33 Ab	11,17 Abcd	11,83 Aabc	7,00 Ac	9,00 Ac	33,00 Acde	36,17 Abc
10	18,83 Aab	18,00 Ab	15,33 Abc	16,00 Aab	11,17 Aabc	11,50 Aabc	45,33 Aabc	45,50 Ab
11	19,16 Aa	15,00 Ab	12,00 Abcd	13,33 Aabc	9,67 Aabc	10,83 Aabc	40,83 Aabcd	39,17 Abc
Média	15,89	17,85	13,38	13,02	10,11	11,02	39,36	41,86
CV (%)	26,92		26,97		20,31		18,61	

\* Cultivares: 1 Acaia Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio, 11 Tupi.

\*\* As médias seguidas de mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% probabilidade.

quando se omitiu o Zn (Tabela 6), demonstrando sua tolerância ao baixo Zn, e sua sensibilidade à dose excessiva de 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . As cultivares do grupo I apresentaram comportamento semelhante entre si, e os valores relativos para as variáveis de crescimento indicam tolerância moderada dessas cultivares ao baixo fornecimento de Zn.

A Figura 1 exibe a dispersão gráfica das cultivares no plano bidimensional, envolvendo a primeira e a segunda variáveis canônicas, as quais apresentaram 89,87% da variação total disponível. Observa-se claramente o distanciamento entre os grupos de cultivares, e a proximidade entre as cultivares dentro do grupo I, confirmando a eficácia do método de discriminação dessas cultivares, conforme caracterizado na análise de agrupamento pelo método de Tocher (Tabela 6).

Todos os grupos apresentaram comportamento semelhante com relação aos valores relativos de AFRFI, de AFRT e do NRRP, que apresentaram reduções na ordem de 17,11%; 19,43% e 8,65%, sendo as maiores diferenças observadas para as produções relativas de massa seca (Tabela 6).

Quanto à concentração de Zn nos tecidos observam-se reduções consideráveis nos teores

médios de Zn em todas as partes da planta cultivada com 0,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn. As maiores concentrações de Zn ocorreram nas raízes, seguidas por caules na dose de 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , e as menores nos caules na dose 0,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn, o que sugere que além de serem órgãos de grande acúmulo de Zn, caules e raízes também são órgãos de reserva capazes de disponibilizar esse nutriente para as regiões de maior crescimento vegetativo. As folhas apicais apresentaram maiores teores de Zn que as folhas recém-maduras e inferiores quando o cultivo foi realizado na dose de 0,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn (Tabelas 7).

Os resultados acima corroboram os observados por Zabini et al. (2007), que verificaram reduções nos teores de Zn em todas as partes da planta, quando se restringiu seu fornecimento. Além disso, verificaram baixa concentração de Zn na folha apical, na folha recém-madura e no caule para a progênie UFV 4066-5, quando cultivada na dose de 0,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn. Os autores também observaram que, nas mesmas condições, a progênie Caturra Vermelho 4 manteve maiores concentrações de zinco nas folhas apicais e recém-maduras.

Em um estudo sobre a translocação e compartimentalização de Zn aplicado via foliar

**TABELA 5** – Médias do diâmetro do caule (DC), altura de planta (ALT), volume de raiz (VR) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de onze cultivares de cafeeiros em resposta a duas doses de zinco.

VAR.*	DC (mm)		ALT (cm)		VR (cm <sup>3</sup> )		NRP	
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0
	$\mu\text{mol L}^{-1}$							
1	6,28 Aabc	6,09 Aabc	52,10 Aa	55,65 Aa	35,00 Aa	63,33 Aab	6,00 Aab	5,83 Aabc
2	6,12 Aabcd	6,33 Aabc	36,08 Abc	40,16 Ab	75,00 Aa	75,00 Aab	3,33 Bcd	7,17 Aa
3	7,34 Aa	7,26 Aa	32,55 Acd	31,92 Acd	73,33 Aa	55,00 Aab	6,17 Aab	6,00 Aabc
4	6,83 Aab	7,08 Aab	41,83 Ab	39,07 Abc	58,33 Aa	90,00 Aa	7,33 Aa	6,67 Aab
5	6,97 Aab	6,19 Aabc	34,30 Abc	34,83 Abcd	65,00 Aa	51,67 Aab	3,50 Acd	5,00 Abc
6	5,44 Abcd	6,01 Aabc	29,92 Acd	32,63 Abcd	63,33 Aa	70,00 Aab	2,67 Bcd	5,00 Abc
7	6,49 Aabc	5,99 Aabc	31,70 Acd	29,78 Ade	61,67 Aa	53,33 Aab	4,17 Abcd	4,83 Abc
8	4,40 Ad	4,84 Ac	19,82 Ae	22,28 Ae	55,00 Aa	43,33 Ab	2,17 Bd	4,33 Ac
9	4,93 Acd	5,47 Abc	25,72 Ade	27,58 Ade	50,00 Aa	45,00 Ab	4,50 Abc	5,00 Abc
10	6,54 Aabc	7,09 Aab	31,45 Acd	33,45 Abcd	63,33 Aa	56,67 Aab	5,67 Aab	5,83 Aabc
11	6,21 Aabc	7,39 Aa	28,37 Acd	31,55 Acd	55,00 Aa	56,67 Aab	4,67 Abc	4,33 Ac
Média	6,14	6,34	33,08	34,54	61,36	60,00	4,56	5,45
CV (%)	14,72		12,17		33,45		21,18	

\* Cultivares: 1 Acaia Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio, 11 Tupi.

\*\* As médias seguidas de mesma letra, maiúscula na horizontal ou minúscula na vertical, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% probabilidade.

em cafeeiros, observou-se que os teores de Zn nas folhas superiores foram maiores que nas folhas inferiores, o que evidencia o efeito de dreno na região metabolicamente mais ativa, além disso, o caule apresentou-se como local de armazenamento de Zn, mesmo que temporariamente, e não só como local de transporte. O caule é o órgão de maior acúmulo de Zn, fato esse explicado pela grande afinidade do  $Zn^{2+}$  com as cargas livres dos vasos condutores (MARTINEZ et al., 2005). Portanto,

o caule é um importante componente da rota de transporte nas plantas e esse acúmulo sugere uma forma de reserva de Zn na planta.

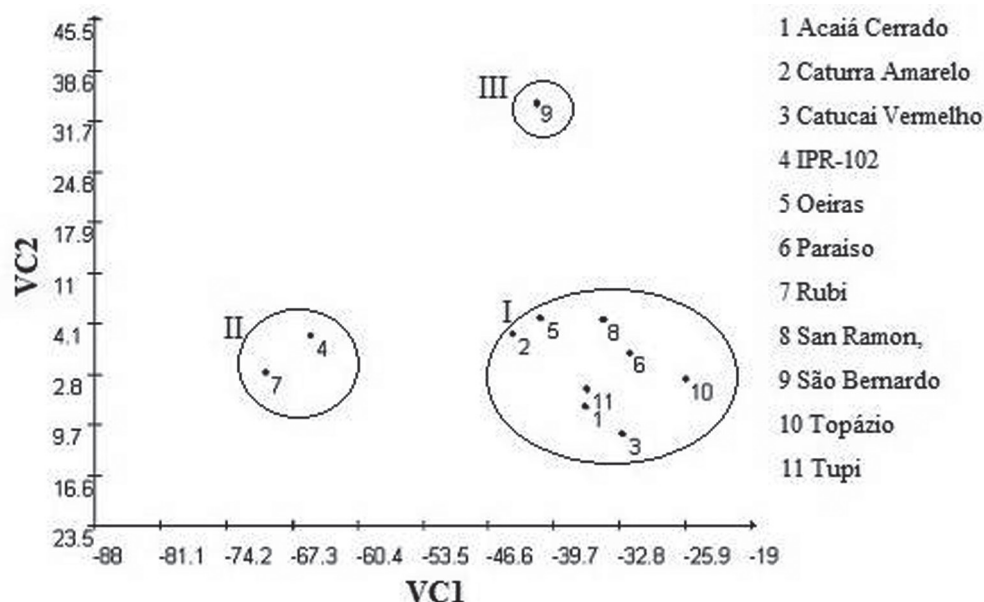
As produções relativas de massa seca apresentaram a maior importância para divergência entre as cultivares, com destaque para MST, enquanto que a AFR apresentou a menor importância relativa. Os resultados também comprovam que as variáveis NF, DC, ALT, VR e NRP são relativamente invariantes ou representadas por outros caracteres.

**TABELA 6** – Agrupamento pelo método de Tocher de onze cultivares de cafeeiro, com base na Distância Generalizada de Mahalanobis, em função das produções relativas causadas pela deficiência de Zn em dezoito variáveis, sendo seis de produção de massa seca (MSRFA, MSRFRM, MSRFI, MSRC, MSRR e MSRT); quatro de área foliar (AFRFA, AFRFRM, AFRFI e AFRT), quatro de número de folhas (NRFA, NRFRM, NRFI e NRFT) e diâmetro do caule (DCR), altura de planta (ALTR), volume de raiz (VRR) e número de ramos plagiotrópicos (NRRP).

VARIÁVEIS	GRUPOS		
	I	II	III
	CULTIVARES*		
	1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11	4, 7	9
MSRFA	58,70	70,91	17,44
MSRFRM	87,10	91,69	67,76
MSRFI	90,10	104,36	105,16
MSRC	79,72	120,43	83,02
MSRR	108,71	107,93	107,53
MSRT	86,64	99,74	82,99
AFRFA	47,61	62,52	44,18
AFRFRM	88,83	102,89	80,71
AFRFI	77,46	83,33	87,88
AFRT	75,29	90,39	76,03
NRFA	90,28	105,04	96,76
NRFRM	92,17	145,04	94,39
NRFI	98,98	83,92	77,78
NRFT	92,03	112,80	91,24
DCR	96,10	102,45	90,19
ALTR	93,39	106,76	93,25
VRR	109,02	90,22	111,11
NRRP	80,89	99,83	93,33

\* 1 Acaia Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio e 11 Tupi.





**FIGURA 1** – Dispersão gráfica de 11 cultivares de cafeeiro em relação à primeira (VC1) e segunda (VC2) variáveis canônicas, obtidas com base em 18 variáveis de crescimento: produção relativa de massa seca (MSRFA, MSRFRM, MSRFI, MSRC, MSRR e MSRT), área foliar relativa (AFRFA, AFRFRM, AFRFI e AFRT), número relativo de folhas (NRFA, NRFRM, NRFI e NRFT) e diâmetro relativo do caule (DCR), altura relativa de planta (ALTR), volume relativo de raiz (VRR) e número relativo de ramos plagiotrópicos (NRRP).

**TABELA 7** – Médias dos teores de zinco nas folhas apicais (ZnFA), recém-maduras (ZnFRM), inferiores (ZnFI), caules (ZnCAU) e nas raízes (ZnR) de 11 cultivares de cafeeiro em resposta a duas doses de zinco (0,0 e 6,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ).

VAR.*	ZnFA		ZnFRM		ZnFI		ZnCAU		ZnR	
	mg kg <sup>-1</sup>									
	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0	0,0	6,0
$\mu\text{mol L}^{-1}$										
1	9,90 B	23,37 A	8,00 B	14,48 A	9,15 B	13,20 A	7,08 A	16,57 A	11,58 B	50,10 A
2	6,27 B	20,18 A	7,15 B	13,63 A	8,80 B	11,78 A	4,55 B	29,48 A	9,42 B	26,45 A
3	11,58 A	15,10 A	7,55 A	11,65 A	8,70 B	12,43 A	6,88 B	30,95 A	8,90 B	34,45 A
4	8,32 B	15,88 A	6,97 B	12,47 A	8,75 B	11,82 A	5,52 B	39,40 A	9,13 B	24,82 A
5	7,62 B	19,70 A	7,92 B	15,82 A	8,58 B	13,20 A	6,28 B	40,92 A	8,33 B	67,33 A
6	13,62 A	18,50 A	7,67 B	13,67 A	8,47 B	11,63 A	8,98 B	32,40 A	9,32 B	36,92 A
7	10,92 B	20,25 A	8,20 B	16,10 A	8,83 B	16,23 A	6,85 B	48,50 A	9,82 B	46,68 A
8	11,78 A	15,63 A	8,48 A	12,70 A	9,80 A	10,63 A	9,15 B	55,77 A	9,73 B	28,27 A
9	13,13 A	18,23 A	8,62 B	13,00 A	9,27 B	13,07 A	9,08 B	33,45 A	10,48 B	27,98 A
10	9,40 B	17,08 A	6,85 B	13,40 A	10,17 B	13,60 A	6,75 B	33,65 A	9,93 B	38,05 A
11	13,30 A	15,45 A	10,93 A	12,35 A	7,20 B	11,72 A	5,22 B	43,07 A	8,92 B	35,33 A
Média	10,53	18,13	8,03	13,57	8,88	12,66	6,94	37,01	9,59	37,85
CV (%)	24,02		24,44		8,14		42,33		33,41	

\* Cultivares: 1 Acaia Cerrado, 2 Caturra Amarelo, 3 Catucaí Vermelho, 4 IPR-102, 5 Oeiras, 6 Paraíso, 7 Rubi, 8 San Ramon, 9 São Bernardo, 10 Topázio, 11 Tupi.

\*\* Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si na linha, pelo Teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

#### 4 CONCLUSÕES

Há variabilidade de resposta de cultivares de cafeeiro ao suprimento de zinco,

As cultivares San Ramon, IPR-102 e Rubi MG 1190 são as mais tolerantes à restrição ao fornecimento de zinco, além de terem crescimento reduzido em doses elevadas desse nutriente.

As cultivares Acaíá Cerrado MG-1474, Caturra Amarelo IAC-476, Catucaí Vermelho 785-15, Oeiras MG-6851, Paraíso MGH-419-1, Topázio MG-1190 e Tupi IAC 1669-33 são medianamente tolerantes ao baixo fornecimento de Zn e a cultivar São Bernardo é a menos tolerante às baixas doses de Zn.

Em condições de suprimento adequado ou elevado de zinco esse se acumula em raízes e caules, enquanto em condições de deficiência há maiores concentrações em folhas apicais.

Quando sob suprimento adequado ou elevado de Zn, caules e raízes de cafeeiro comportam-se como órgãos de reserva, capazes de disponibilizá-lo, se necessário, para as regiões de crescimento vegetativo intenso.

A produção de massa seca da parte aérea, caule e raízes de cafeeiros reduz-se em condições de baixa disponibilidade de Zn, sendo a produção total de massa seca a característica de maior importância relativa na discriminação das cultivares quanto à resposta ao suprimento do nutriente.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café, pelo financiamento do projeto e ao CNPq, pelas bolsas concedidas.

#### 6 REFERÊNCIAS

ADRIANO, D. C.; PAULSEN, G. M.; MURPHY, L. S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationship in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, n. 1, p. 36-39, 1971.

AHMAD, Z.; GILL, M. A.; QURESHI, R. H. Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 24, n. 8, p. 1149-1171, 2001.

AMARAL, J. F. T. et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 621-629, abr. 2011a.

\_\_\_\_\_. Eficiência na produção de frutos e alocação relativa de nutrientes em cultivares de cafeeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 253-262, 2010.

\_\_\_\_\_. Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 65-74, 2011b.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: análise multivariada e simulação**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 175 p.

\_\_\_\_\_. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2010.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Academic, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 271 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa, MG: UFV, 2011. 76 p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Differential tolerance to zinc deficiency in coffee-plant progenies. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 34, n. 11, p. 1654-1674, Nov. 2011.

\_\_\_\_\_. Translocação e compartimentalização de Zn em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 491-497, maio/jun. 2005.

NEVES, Y. P. et al. Productividad y acumulación de materia seca, N, P y K por cultivares de *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 156-167, 2006.

RENGEL, Z.; RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 152, n. 4/5, p. 433-438, 1998.

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, n. 4, p. 95-103, 2007.