

# COBRE VIA FOLIAR NA NUTRIÇÃO E NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFEIEIRO

Kaio Gonçalves de Lima Dias<sup>1</sup>, Davi Lopes do Carmo<sup>2</sup>, Adélia Aziz Alexandre Pozza<sup>3</sup>,  
Edson Ampélio Pozza<sup>4</sup>, Paulo Tácito Gontijo Guimarães<sup>5</sup>

(Recebido: 06 de abril de 2015; aceito: 22 de junho de 2015)

**RESUMO:** Objetivou-se, com este estudo, avaliar o efeito de fontes e doses de cobre (Cu) aplicado via foliar na nutrição e na produção de mudas de cafeeiro. Os tratamentos consistiram de combinações de duas fontes (Sulfato Cúprico Amoniacal - SCA e Sulfato de Cobre - SC) e quatro doses (0, 250, 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup>) de Cu. As fontes de Cu nas diferentes doses foram dissolvidas em água e calculadas para o volume de pulverização foliar de 400 L ha<sup>-1</sup> de calda. As doses foram parceladas em três aplicações espaçadas de 20 dias. Avaliaram-se os teores e o conteúdo de Cu na folha, no caule, na raiz e total das plantas; a matéria seca da folha, caule, raiz e total; a eficiência de utilização, a eficiência de absorção e a eficiência de translocação em mudas de cafeeiro. De modo geral, os maiores teores e conteúdos de Cu foram obtidos para a fonte SC. Os incrementos máximos de matéria seca total foram de 48 g para o SCA e de 51 g para o SC, para as doses de 534 e 668 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As maiores eficiências de utilização e de absorção foram constatadas para o SCA e SC, respectivamente. A eficiência de translocação foi semelhante para as duas fontes.

**Termos para indexação:** Pulverização foliar, nutrição do cafeeiro, micronutriente, sulfato cúprico amoniacal.

## FOLIAR COPPER ON GROWTH AND NUTRITION OF COFFEE SEEDLINGS

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the effect of different sources and doses of copper (Cu) applied to leaves on growth and nutrition of coffee seedlings. The treatments consisted of combinations of two Cu sources (Cupric Sulfate Ammonium - CSA and Copper Sulfate - CS) and four Cu doses (0, 250, 500 and 1000 g ha<sup>-1</sup>). The sources of Cu in different doses were dissolved in water, calculated for the application volume of 400 L ha<sup>-1</sup>. The doses were divided in 3 applications at 20 days. The Cu content and concentration in the leaf, stem, and root in were measured. The dry matter of the leaf, stem, root and total and the utilization, absorption and translocation efficiency, in coffee seedlings were evaluated. In general the Cu content and concentration were obtained for the CS at doses of 250, 500 and 1000 g ha<sup>-1</sup> Cu. The maximum increase of total dry matter was 48 and 51 g to CSA and CS, when applied 534 and 668 g ha<sup>-1</sup>, respectively. The highest utilization and absorption efficiency was found to CSA and CS, respectively. The translocation efficiency was similar for both sources.

**Index terms:** Foliar fertilization, coffee seedling nutrition, micronutrient, ammoniacal cupric sulfate.

## 1 INTRODUÇÃO

O cobre (Cu) apesar de exigido em pequenas quantidades pelas plantas é essencial para completar o ciclo vegetativo. A sua deficiência pode limitar o crescimento e a produção das plantas, mesmo quando todos os outros nutrientes essenciais estão presentes em quantidades adequadas (BARBOSA et al., 2013; CARMO et al., 2012).

Este micronutriente atua em vários processos fisiológicos das plantas, como fotossíntese, respiração, metabolismo de proteínas e em rotas metabólicas de produção de compostos de resistência contra patógenos de plantas (GUO et al., 2010). Além disso, dependendo da dose utilizada, pode atuar como fungicida e bacteriostático (CARVALHO; CUNHA; SILVA, 2012).

A deficiência de Cu nas plantas pode ocorrer

devido a baixas concentrações no solo, a condições de elevado pH, ao excesso de matéria orgânica ou de N, P e Zn nas adubações, ou mesmo, pela falta de aeração adequada no solo, de maneira a formar compostos de Cu insolúveis em água (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). Um fator importante, principalmente na cultura do cafeeiro, pelas aplicações de calcário na superfície do solo, é a supercalagem, que pode reduzir a disponibilidade de micronutrientes metálicos, inclusive o Cu. O Cu é menos móvel no solo pelas ligações físico-químicas e sua labilidade é dependente do ligante, com destaque para matéria orgânica e óxidos, e da condição geoquímica, especialmente pH, formando complexos estáveis (CASALI et al., 2008). Portanto, esses complexos exercem papel importante, tanto na mobilidade, quanto na fitodisponibilidade desse micronutriente. A maior parte do Cu em solução, forma complexo

<sup>1,2,3</sup>Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG  
kaioogld@gmail.com, davigoldan@yahoo.com.br, adelia.pozza@dcs.ufla.br

<sup>4</sup>Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG  
eapozza@dfp.ufla.br

<sup>5</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - paulotgg@ufla.epamig.br

solúvel com ácidos orgânicos, tais como o cítrico e o oxálico (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). Por essas limitações em suprir de Cu na cultura do cafeeiro via solo, tem sido comum a aplicação via foliar por pulverizações.

Sendo assim, vários fatores podem influenciar a absorção do Cu no cafeeiro, entre eles, as fontes e as doses aplicadas. As fontes de Cu podem se diferenciar pela composição química, solubilidade e velocidade de absorção. As fontes de Cu nutricional de liberação gradual apresentam maior eficiência, pois mantêm suprimento constante do nutriente no tecido foliar, favorecendo sua absorção.

O sulfato cúprico amoniacal, de fórmula química  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ , é um sólido com estrutura cristalina cúbica, solúvel em água (18,5g/100g  $\text{H}_2\text{O}$  a 21,5°C). Sua composição média é de 8% N, 14% S e 30% Cu. Sua obtenção pode ser feita pela reação entre a amônia concentrada e solução de sulfato de cobre saturada (REYMAO, 2012). Em comparação, o sulfato de cobre possui cerca de 24% de Cu e 11% de S, obtido por meio da reação por oxidação do cobre metálico com ácido sulfúrico (SOUZA, 2011).

Outras fontes de Cu foram avaliadas na cultura do cafeeiro, mas pouco se sabe sobre o efeito e a eficiência do sulfato cúprico amoniacal no suprimento de Cu para essa cultura, o que justifica este estudo. Em função das características diferenciadas das fontes de Cu e de seus efeitos no crescimento das plantas, há a necessidade de se investigar se a dose ótima varia entre as fontes de Cu e se a fonte testada neste trabalho pode proporcionar melhor eficiência agrônômica, comparada à fonte utilizada como padrão, o sulfato de cobre.

Objetivou-se, com este estudo, avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de cobre aplicadas via foliar na nutrição e na produção de mudas de cafeeiro.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com mudas de cafeeiros da cultivar Mundo Novo 379/19. Foram utilizados vasos de plástico com volume de 3,5 L. O solo utilizado como substrato foi retirado de um Latossolo Vermelho distroférrico de textura muito argilosa (Areia = 13 dag  $\text{kg}^{-1}$ , Silte = 8 dag  $\text{kg}^{-1}$  e Argila = 79 dag  $\text{kg}^{-1}$ ) coletado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG. Antes de instalar o experimento foi realizada a caracterização química do solo (Tabela 1). Essa caracterização envolveu as seguintes determinações: pH em água, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Al+H, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions - CTC a pH 7 (T) e efetiva (t), saturação por bases (V), saturação por Al (m), matéria orgânica (MO), P-remanescente, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, B e S-sulfato, seguindo-se protocolos analíticos disponibilizados em Silva et al. (2009).

Com base nos resultados da análise química do solo, calculou-se a dose de corretivo para elevar a saturação por bases a 60%, utilizando-se 3 t  $\text{ha}^{-1}$  de calcário calcítico. O solo foi incubado com esse calcário por 30 dias, a 70% da capacidade campo. Após esse período, aplicou-se fósforo, na dose de 800  $\text{kg ha}^{-1}$  de superfosfato simples.

Os vasos foram preenchidos com solo e realizou-se o transplântio das mudas com três pares de folhas completamente expandidas. As adubações complementares foram realizadas com base na solução de nutrientes recomendada por Novais, Neves e Barros (1991) exceto cobre, contendo em  $\text{mg dm}^{-3}$ : N=300, K=150, S=50, B=0,5, Fe=5, Mo=0,1, Mn=3,6 e Zn=5.

**TABELA 1** - Atributos químicos de amostra retirada do horizonte B de um Latossolo Vermelho distrófico.

Atributos	Valores	Atributos	Valores
pH $\text{H}_2\text{O}$ (1:2,5)	5,4	V (%)	38,8
P (Mehlich) ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,38	m (%)	5,26
K <sup>+</sup> ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	33,0	MO (dag $\text{kg}^{-1}$ )	3,9
Ca <sup>2+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	1,36	P-rem ( $\text{mg l}^{-1}$ )	5,30
Mg <sup>2+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0,16	Zn <sup>2+</sup> ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,93
Al <sup>3+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	0,09	Fe <sup>2+</sup> ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	19,2
H+Al ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	32,6	Mn <sup>2+</sup> ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	5,62
SB ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	1,62	Cu <sup>2+</sup> ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,02
t ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	1,71	B ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,37
T ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	4,18	S ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	14,3

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, representado pela combinação de duas fontes (Sulfato Cúprico Amoniacal - SCA e Sulfato de Cobre - SC) e quatro doses (0, 250, 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup>) de Cu correspondentes a 0, 1042, 2083 e 4167g de SC e a 0, 833, 1667 e 3333 g de SCA, em quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por 5 vasos, com uma planta em cada. As fontes de Cu nas diferentes doses foram dissolvidas em água e calculadas para o volume de aplicação de 400 L ha<sup>-1</sup>. As pulverizações foliares foram feitas utilizando-se pulverizador manual de 5 L. As doses foram parceladas em 3 aplicações espaçadas de 20 dias.

Aos 45 dias após o transplântio, as mudas apresentavam-se uniformes, foi realizada então a primeira aplicação dos tratamentos até o ponto de escorrimento. Aos 20 dias após a última aplicação, foram avaliadas a altura das plantas e o diâmetro do caule. Durante o estudo, a umidade do solo foi mantida próxima da capacidade de campo, com reposição de água deionizada diariamente, mediante a pesagem dos vasos.

Após as avaliações de altura de plantas e do diâmetro de caule, o experimento foi colhido, separando-se as folhas, as raízes e os caules, e estes foram acondicionados em sacos de papel e secos em estufa de circulação forçada a 60 °C por 3 a 4 dias até atingirem peso constante. A matéria seca obtida foi moída em moinho tipo Willey, passado em peneira fina (40 mesh) e homogeneizada, para as determinações dos teores de nutrientes, seguindo os métodos descritos por Miyazawa et al. (2009). As análises dos materiais foram feitas no laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da CTSM/EPAMIG. O conteúdo também foi calculado separadamente nas folhas, caules e raízes, multiplicando-se o teor pelo peso de matéria seca. O conteúdo total e o teor total foram calculados, somando-se os conteúdos das diferentes partes.

A avaliação da eficiência das fontes de Cu foi feita mediante os cálculos de:

Índice de Eficiência Relativa (IER) descrito por Chien e Hammond (1978), onde foram utilizados os valores de matéria seca total:

$$IER(\%) = 100(P_n - P_0) / (PSFT - P_0)$$
 sendo: P<sub>n</sub>, a produção obtida com a fonte (SCA) na dose n; P<sub>0</sub>, a produção da testemunha (0 mg kg<sup>-1</sup> de Cu); PSFT, a produção obtida com a fonte solúvel (SC) na dose n.

Eficiência de utilização (EU) descrito por Siddiqi e Glass (1981), onde:

$$EU = (\text{Matéria seca total})^2 / \text{Conteúdo na Matéria seca total}$$

Eficiência de absorção (EA) (SWIADER; CHYAN; FREIJI, 1994), onde:

$$EA = \text{Conteúdo total absorvido} / \text{Matéria seca da raiz}$$

Eficiência de translocação (ET) (BAILIAN; MCKEAND; ALLEN, 1991), onde:

$$ET = (\text{Conteúdo na parte aérea} / \text{Conteúdo na planta toda}) \times 100$$

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2014). A variável dose, quando significativa no teste F (P < 0,05), seja para a interação ou não, foi submetida ao ajuste de modelos lineares por análise de regressão. O ponto máximo das funções quadráticas foi obtido pela derivada de primeira ordem, igualando a mesma a zero. Para a variável fonte, o próprio teste F foi empregado para diferenciá-las.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Produção de mudas

Houve interação significativa entre fontes e doses para altura e diâmetro do caule de mudas de cafeeiro (Figura 1A e 1B). É interessante ressaltar que a aplicação dos tratamentos foi realizada em plantas visualmente uniformes, em termos de altura, pois o transplântio foi realizado com mudas contendo três pares de folhas completamente expandidas. Na dose de 250 g ha<sup>-1</sup>, constatou-se aumento significativo na altura (Figura 1A) e no diâmetro do caule (Figura 1B) para o SCA e, na dose de 1000 g ha<sup>-1</sup>, foram constatados aumentos significativos para o SC. Nas doses zero (controle) e 500 g ha<sup>-1</sup> não se observaram efeitos significativos.

As doses de Cu utilizadas para as duas fontes (SCA e SC) promoveram elevações na altura e no diâmetro de caule, com comportamento quadrático, exceto para o diâmetro na fonte SC que foi linear (Figura 1B). As doses de Cu aplicadas com a fonte de SCA proporcionaram acréscimos na altura até o ponto máximo de 350 g ha<sup>-1</sup>, alcançando altura de 26 cm, enquanto, para a fonte SC o ponto máximo foi de 590 g ha<sup>-1</sup>, com alcance de 25 cm de altura, a partir das quais houve reduções (Figura 1A). Para o diâmetro do caule, observou-se o ponto máximo (4,7 mm) na dose de 375 g ha<sup>-1</sup>, com a fonte SCA, no entanto, para a fonte SC a relação entre diâmetro do caule em função da dose de Cu foi linear até a dose máxima estudada de 1000 g ha<sup>-1</sup>, com alcance de 4,9 cm de diâmetro.

Os aumentos constatados na altura e no diâmetro do caule das plantas de café em função das doses de Cu, para as duas fontes, são justificados pela sua participação nos componentes do metabolismo de carboidratos, da síntese de lignina e de clorofila (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Em contrapartida, as reduções constatadas na altura e no diâmetro do caule nas plantas de café, após atingirem o ponto máximo, se devem ao excesso de Cu, causando desequilíbrio de suas concentrações no tecido foliar, além dos efeitos fitotóxicos desse nutriente. Ademais, a redução do pH da calda, devido ao radical sulfato, também pode ter contribuído para essa redução.

O excesso de Cu é fitotóxico por causa do seu papel na catálise de reações, capazes de gerar espécies reativas de oxigênio, levando ao aumento do estresse oxidativo em plantas (ANDRE et al., 2010). Íons livres de Cu facilmente oxidam ligações tiol dentro de proteínas, provocando o rompimento de sua estrutura secundária e assim, de sua função metabólica (DUCIC; POLLE, 2005). Além disso, quantidades excessivas de Cu podem levar à clorose e ao desfolhamento precoce das folhas e inibição do crescimento (BELLION et al., 2006; BOUAZIZI et al., 2010).

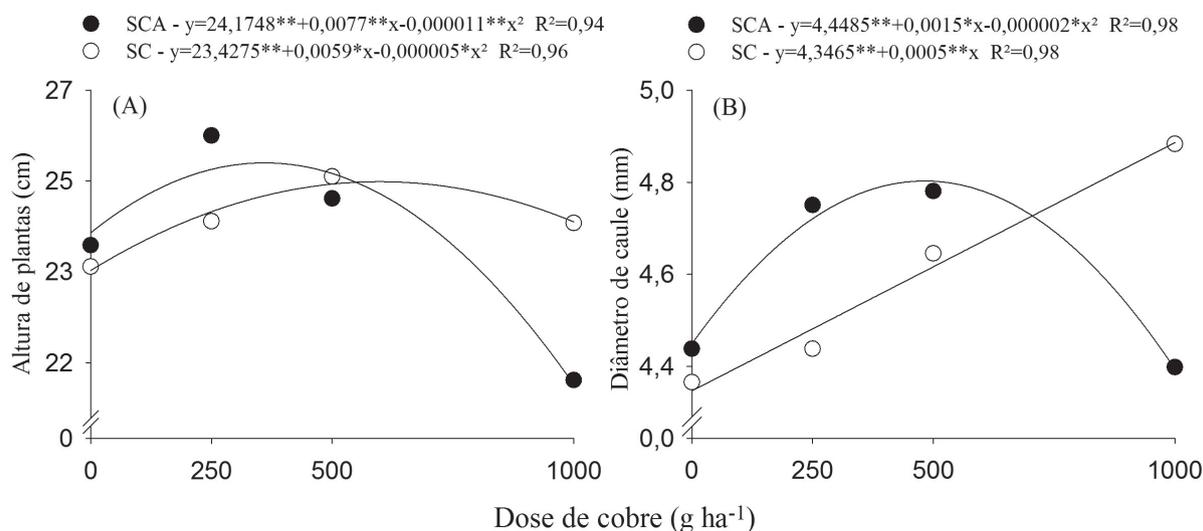
Para a matéria seca de folha, caule, raiz e total em mudas de café houve efeito significativo da interação entre doses e fontes de Cu (Figuras 2A, 2B, 2C e 2D). A matéria seca de folha, caule, raiz e total foram significativamente

maiores com a aplicação de SC na dose de 1000 g ha<sup>-1</sup> e na dose de 500 g ha<sup>-1</sup> somente para a matéria seca de folha, enquanto o SCA proporcionou maior valor de matéria seca de raiz, na dose 500 g ha<sup>-1</sup>. Nas demais doses, as produções de matéria seca de folha, caule, raiz e total não diferiram estatisticamente.

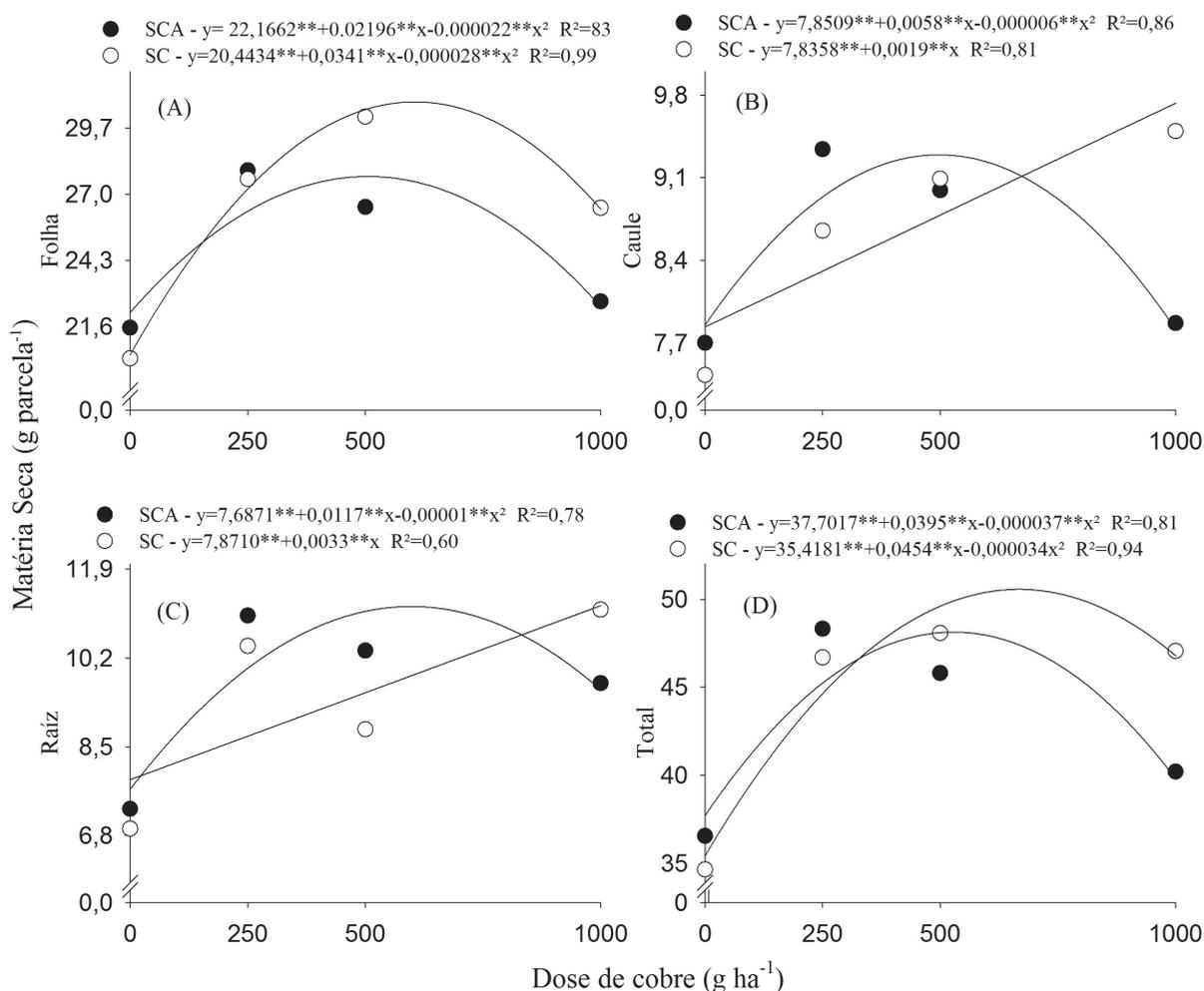
Com o aumento da dose das duas fontes de Cu (SCA e SC), verificaram-se incrementos, de forma quadrática, nas produções de matéria seca de folha, caule, raiz e total, com exceção da fonte SC para a produção de matéria seca do caule e da raiz que aumentaram de forma linear. A partir do ponto máximo, observaram-se reduções nas produções de matéria seca de folha, caule, raiz e total para as duas fontes.

Os incrementos nas produções de matéria seca de folha, caule, raiz e total devem-se ao fato do Cu ser componente de várias proteínas que desempenham papel fundamental em processos tais como o transporte de elétrons, na fotossíntese, na respiração, na desintoxicação de radicais superóxido e lignificação (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

Segundo esses autores, o decréscimo do transporte fotossintético de elétrons, como consequência especialmente dos menores teores da plastocianina, diminui a taxa de fixação de CO<sub>2</sub>, de tal modo que o teor de amido e de carboidratos solúveis (especialmente sacarose) é também diminuído, reduzindo a produção da matéria seca em plantas.



**FIGURA 1** - Efeito de fontes (SCA - sulfato cúprico amoniacal; SC - sulfato de cobre) e doses de Cu aplicados via foliar na altura de plantas (A) e no diâmetro de caule (B) em mudas de café. \* e \*\*= significativos ( $P<0,05$ ) e ( $P<0,01$ ), respectivamente, pelo teste t dos parâmetros. Os  $R^2$  apresentados foram significativos no teste F ( $P < 0,05$ ).



**FIGURA 2** - Efeito de fontes (SCA - sulfato cúprico amoniacal; SC - sulfato de cobre) e doses de Cu aplicados via foliar na produção de matéria seca da folha (A), matéria seca do caule (B), matéria seca da raiz (C) e matéria seca total (D) de mudas de cafeeiro. \* e \*\*= significativos ( $P < 0,05$ ) e ( $P < 0,01$ ), respectivamente, pelo teste t dos parâmetros. Os  $R^2$  apresentados foram significativos no teste F ( $P < 0,05$ ).

Os valores máximos de matéria seca total foram de 48,2 g, na dose de 534 g ha<sup>-1</sup> e 51 g na dose de 668 g ha<sup>-1</sup>, para o SCA e SC, respectivamente. A menor dose utilizada de SCA para a máxima produção de matéria seca, quando comparado ao SC, pode ser pelo SCA conter N, na sua composição química. O N tem translocação rápida na planta, inclusive quando aplicado via foliar e movimentada-se através do floema, principalmente em formas orgânicas, sendo sua distribuição na planta em função da demanda em cada órgão, no momento da aplicação (OKANO et al., 1983).

O comportamento quadrático da matéria seca do caule (Figura 2B) e da raiz (Figura 2D) com a aplicação do SCA, em relação ao linear de SC, pode ser explicado pela maior mobilidade

desta fonte, em função do seu íon acompanhante. Essa maior mobilidade do SCA causou maior toxidez nos órgãos citados, com a aplicação das doses mais elevadas, quando comparado ao SC, podendo-se utilizar menores doses desse produto. Em função da menor mobilidade, o SC apresentou comportamento linear para a matéria seca do caule (Figura 2B) e da raiz (Figura 2D). O Cu tem forte afinidade com o átomo de N do grupo amino, podendo atuar como carregador de Cu, tanto no xilema, quanto no floema (SOUZA et al., 2010).

As reduções observadas, a partir do ponto máximo, para ambas as fontes nos valores de matéria seca total também podem ser justificadas em função de possível efeito de toxidez ou efeito do pH ácido da calda, devido ao radical sulfato.

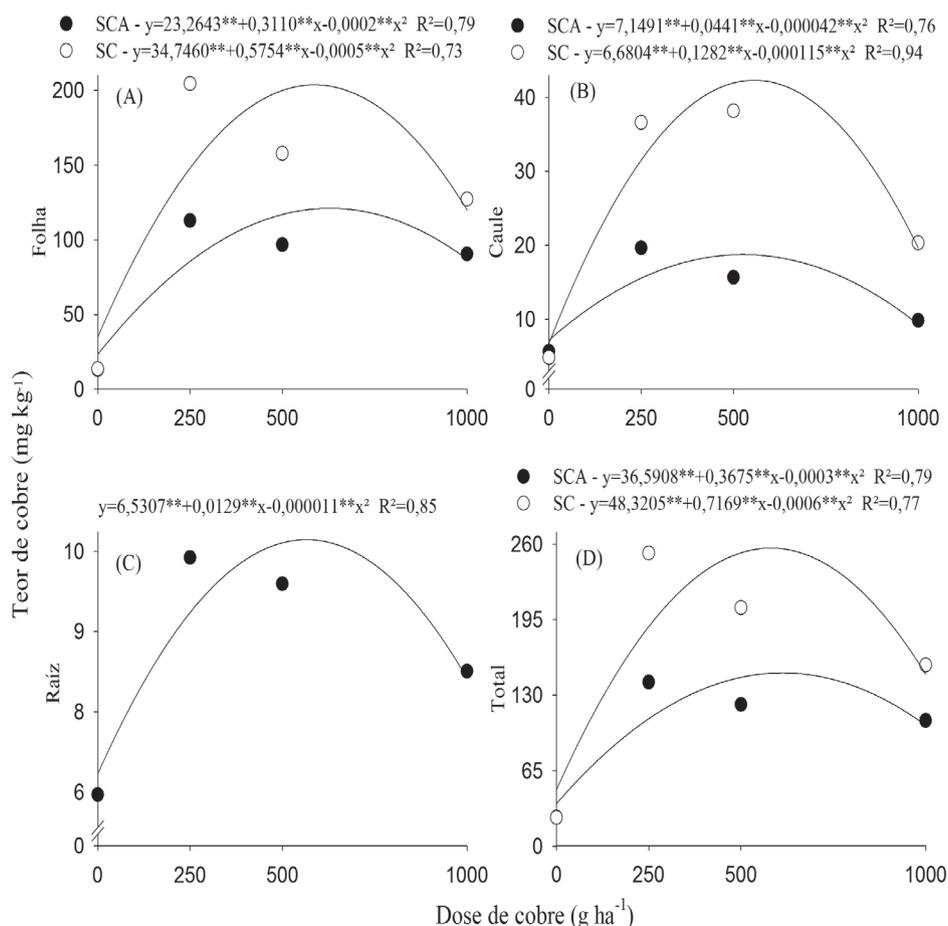
De acordo com Luna, Casano e Trippi (1997), quando as plantas são expostas ao excesso de Cu, a produção de clorofila é reduzida por causa da alteração na atividade da enzima nitrato redutase, reduzindo o nitrogênio na planta, reduzindo o crescimento. Além disso, a toxidez causada por excesso de Cu pode ocorrer nas raízes, com perda de vigor, apresentando coloração escura, engrossamento e paralisação do crescimento (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007).

### 3.2 Nutrição

Para os teores de Cu na folha, caule e total, houve interação entre fontes e doses de Cu. Na raiz, não houve esta interação. Assim, realizou-se o desdobramento, com teste de média entre as fontes dentro de cada dose e regressão entre teores

de Cu e doses (Figuras 3A, 3B, 3C e 3D). Os teores de Cu na folha, caule, raiz e total do cafeeiro, em função das doses aplicadas ajustaram-se em equações quadráticas para as duas fontes utilizadas (SCA e SC), com os maiores teores observados de modo geral para o SC. Dos três compartimentos analisados, foram observados os maiores teores nas folhas, variando de 13 a 205 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3A), enquanto no caule os teores variaram de 4,8 a 37 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3B) e na raiz de 6,2 a 9,9 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3C).

Os maiores teores totais de Cu variaram de 144 a 200 mg kg<sup>-1</sup> nas fontes SCA e SC, respectivamente (Figura 3D). Esses teores foram obtidos nas doses de 777 g ha<sup>-1</sup> para a fonte SCA e 575 g ha<sup>-1</sup> para a fonte SC.



**FIGURA 3** - Efeito de fontes (SCA - sulfato cúprico amoniacal; SC - sulfato de cobre) e doses de Cu aplicados via foliar no teor de Cu na folha (A), teor de Cu no caule (B), teor de Cu na raiz (C) e teor de Cu total (D) em mudas de cafeeiro. \* e \*\*= significativos ( $P < 0,05$ ) e ( $P < 0,01$ ), respectivamente, pelo teste t dos parâmetros. Os  $R^2$  apresentados foram significativos no teste F ( $P < 0,05$ ).

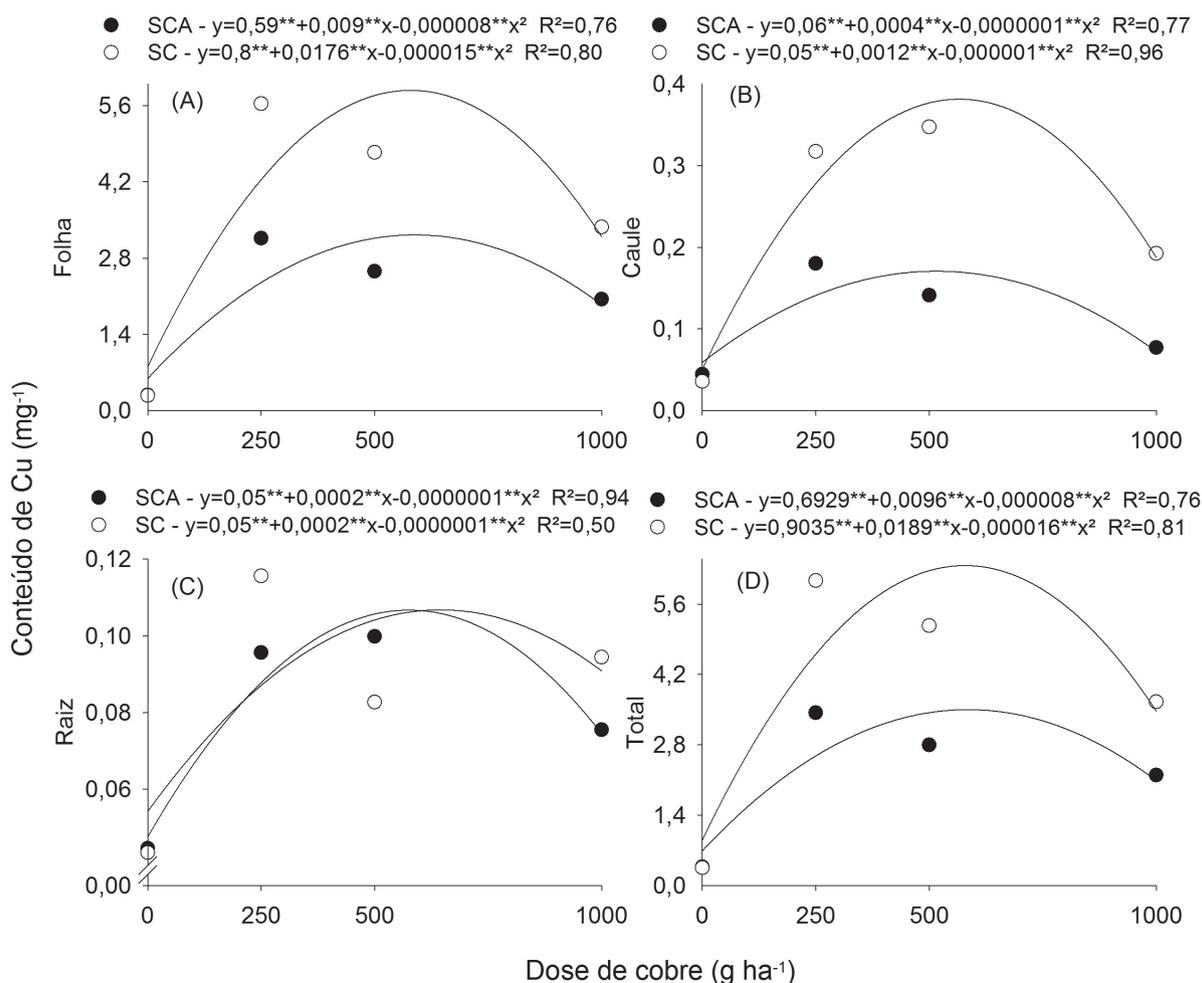
Segundo Martinez, Carvalho e Souza (1999) os teores de Cu, em folhas de cafeeiros em produção do sul de Minas Gerais situam-se na faixa de 14 a 26 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto no trabalho realizado por Gontijo et al. (2007), em folhas de mudas de cafeeiro foram encontrados de 6,9 a 9,3 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, valores esses bem abaixo dos encontrados nesse trabalho. Porém, nesses dois trabalhos não foram feitas pulverizações foliares com produtos à base de cobre.

Esses valores altos, quando comparados aos encontrados em outros trabalhos, podem indicar uma maior exigência das plantas nesse micronutriente.

Para o conteúdo de Cu na matéria seca de folha, caule, raiz e total, houve interação significativa entre doses e fontes.

Observou-se maior conteúdo de Cu com a aplicação de SC nas doses de 250, 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup> na folha (Figura 4A), no caule (Figura 4B) e total (Figura 4D). Para a raiz foi observado maior conteúdo de Cu com a aplicação de SC, somente na dose de 250 g ha<sup>-1</sup> (Figura 4C). Observa-se ainda que, todas as doses apresentaram maiores valores de conteúdo de Cu, quando comparadas à dose zero (testemunha) ou seja, houve absorção das duas fontes testadas com maior produção de matéria seca (Figura 2), devido às aplicações foliares de Cu.

As aplicações de fontes e de doses de Cu promoveram mudanças na nutrição das mudas de cafeeiro, com alterações significativas para os teores foliares de P, Fe, Mg e Mn (Tabela 2). Para os teores foliares de N, K, Ca, S, B e Zn não houve diferença.



**FIGURA 4** - Efeito de fontes (SCA - sulfato cúprico amoniacal; SC - sulfato de cobre) e doses de Cu aplicados via foliar no conteúdo de Cu na folha (A), conteúdo de Cu no caule (B), conteúdo de Cu na raiz (C) e conteúdo de Cu total (D) em mudas de cafeeiro. \* e \*\*= significativos (P<0,05) e (P<0,01), respectivamente, pelo teste t dos parâmetros. Os R<sup>2</sup> apresentados foram significativos no teste F (P < 0,05).

Dessa forma, foram realizadas regressões para os teores foliares de P e Fe em função das doses de Cu, para as duas fontes, com ajuste quadrático decrescente. Para os teores foliares de Mg e Mn, não houve ajustes na regressão.

Observou-se decréscimo para os teores foliares de P e de Fe para as duas fontes (SCA e SC), em função do aumento das doses de Cu aplicadas via foliar (Figura 5A e 5B). Em casos de toxicidade, promovida por teores de Cu disponíveis no solo, superiores a 300 mg kg<sup>-1</sup> foi observada deficiência de Fe, na parte aérea

por Dechen e Nachtigall (2006). Os autores justificaram essa correlação negativa por causa do Cu em excesso atuar em reações, que afetam o estado de oxidação do Fe, limitando sua absorção e translocação na planta, e além disso, provocar a redução da absorção de P.

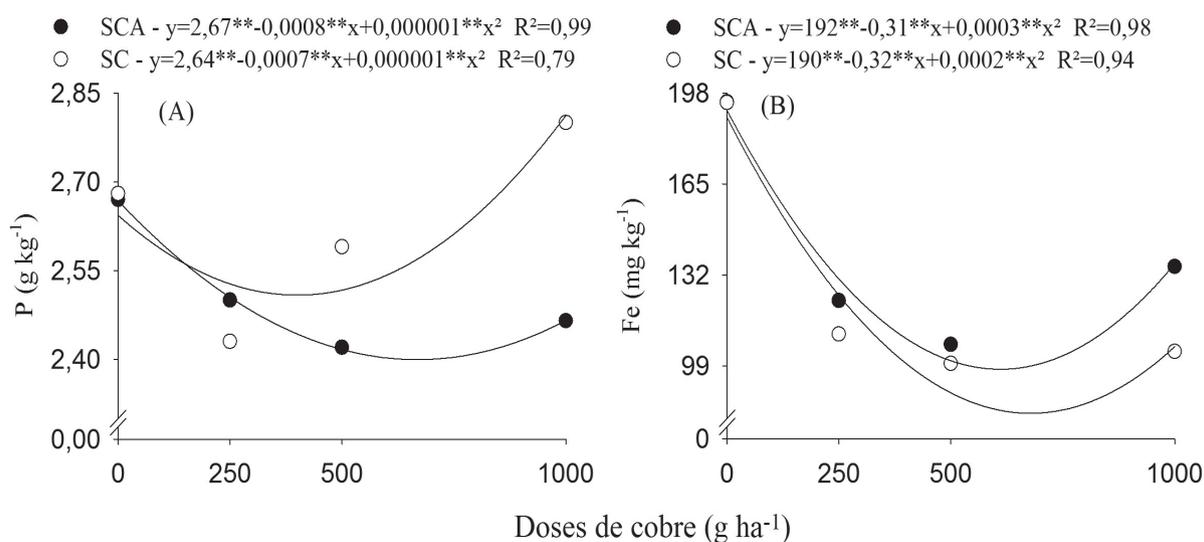
### 3.3 Eficiência de absorção, translocação e utilização

Observou-se diferença significativa para a interação entre fontes e doses para a eficiência de absorção de Cu (EA) e eficiência de utilização (EU) (Figuras 6A e 6C).

**TABELA 2** - Teores foliares de nutrientes em cafeeiros submetidos à aplicação foliar com diferentes fontes e doses de Cu.

Fontes	Doses de Cu (g ha <sup>-1</sup> )	g kg <sup>-1</sup>									
		N <sup>ns</sup>	P*	K <sup>ns</sup>	Ca <sup>ns</sup>	Mg*	S <sup>ns</sup>	B <sup>ns</sup>	Fe*	Mn*	Zn <sup>ns</sup>
SCA	0	37,2	2,63	19,2	14,2	2,72	1,71	68,0	183	107	17,9
SCA	250	39,6	2,44	18,8	13,6	2,64	1,72	66,5	123	124	16,1
SCA	500	37,1	2,50	19,2	14,2	2,81	1,83	60,8	107	99	29,6
SCA	1000	39,1	2,45	19,8	14,6	2,87	1,84	55,9	135	112	18,6
SC	0	37,2	2,63	19,2	14,2	2,72	1,71	68,0	183	107	17,9
SC	250	38,3	2,43	18,8	14,0	2,67	1,86	62,3	110	120	17,3
SC	500	39,6	2,59	19,2	14,8	2,64	1,67	62,5	107	125	23,8
SC	1000	39,0	2,80	19,4	14,4	2,93	1,74	64,5	104	135	16,7

SCA: sulfato cúprico amoniacal, SC: sulfato de cobre. <sup>ns</sup> = não significativo; \* Significativo (P<0,05).



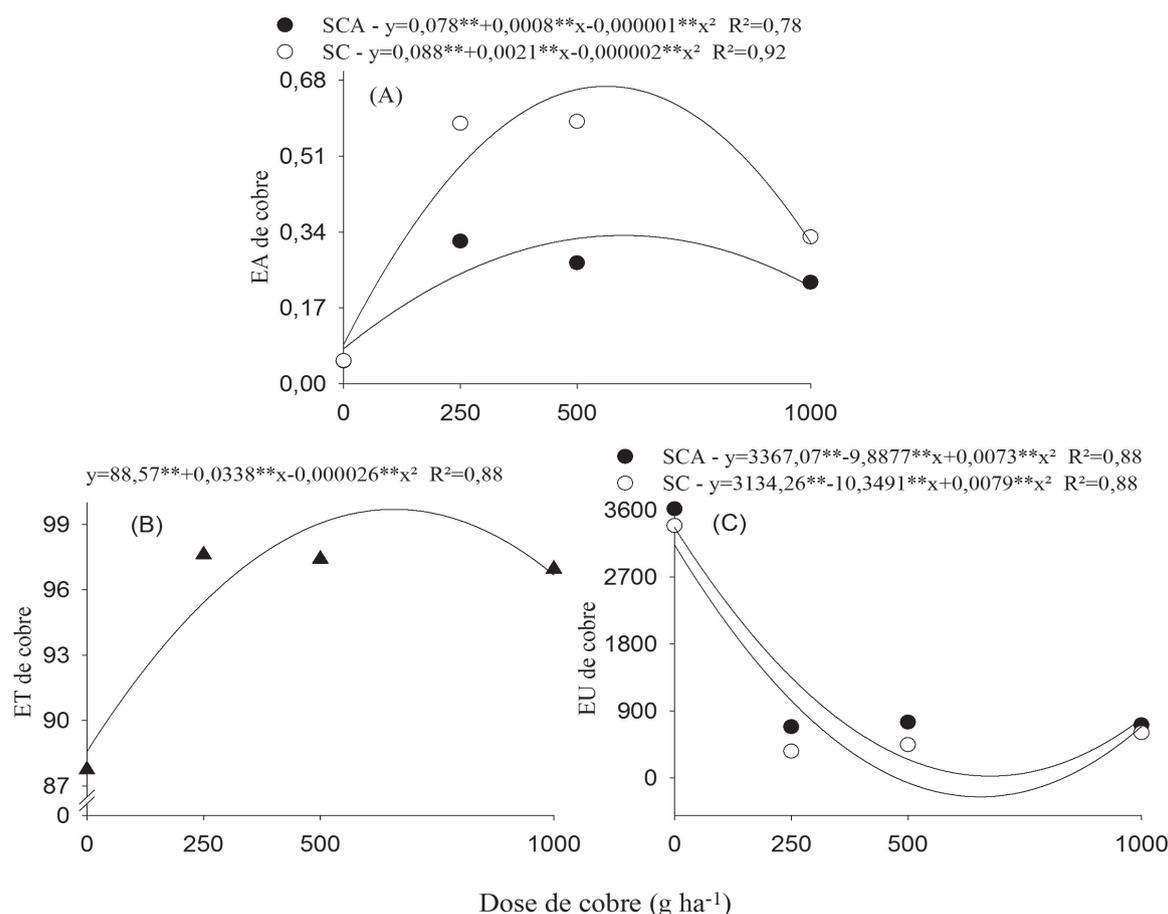
**FIGURA 5** - Efeito de fontes (SCA - sulfato cúprico amoniacal; SC - sulfato de cobre) e doses de Cu aplicados via foliar no teor foliar de fósforo (A) e ferro (B) em mudas de cafeeiro. \* e \*\* = significativos (P<0,05) e (P<0,01), respectivamente, pelo teste t dos parâmetros. Os R<sup>2</sup> apresentados foram significativos no teste F (P < 0,05).

A eficiência de translocação de Cu (ET) diferiu somente para dose (Figura 6B). Observaram-se ajustes quadráticos para as relações entre EU, EA, ET e doses de Cu, com redução da EU e aumentos da EA e de ET, a partir da dose zero. O SCA apresentou maior EU em todas as doses, exceto na dose 1000 g ha<sup>-1</sup>, onde não houve diferença significativa entre as fontes.

Observou-se aumento da EA até a dose próxima a 500 g ha<sup>-1</sup> para as duas fontes, a partir da qual houve decréscimo. Diferente do que foi observado na EU, na EA, o SC apresentou maiores valores quando comparado ao SCA em todas as doses, exceto na testemunha. A menor EA do SCA pode estar relacionada ao N que contém. De acordo com Kirkby e Römheld (2007), a mobilidade do Cu

dentro das plantas é limitada e, particularmente, dependente do estado nutricional em termos de Cu e de N. Pela sua forte ligação com a parede celular, a translocação do Cu das raízes para as brotações é lenta. Além disso, alto suprimento de N diminui a disponibilidade de Cu dentro das plantas com a consequência de requerimento crítico maior de Cu para a máxima produtividade.

Também foi avaliado o índice de eficiência relativa (IER) e constataram-se que SCA apresentou IER de 116,1 % na dose de 250 g ha<sup>-1</sup>, 80,3% na dose 500 g ha<sup>-1</sup> e 33,8% na dose 1000 g ha<sup>-1</sup>, quando comparado ao SC. Diante desse resultado, nota-se maior eficiência do SCA em doses próximas a 250 g ha<sup>-1</sup> e efeito negativo a partir desta dose.



**FIGURA 6** - Efeito de fontes (SCA - sulfato cúprico amoniacal; SC - sulfato de cobre) e doses de Cu, aplicados via foliar na eficiência de absorção (EA) (A), eficiência de translocação (ET) (B) e eficiência de utilização (EU) (C), em mudas de cafeeiro. \* e \*\*= significativos ( $p < 0,05$ ) e ( $p < 0,01$ ), respectivamente, pelo teste t dos parâmetros. Os  $R^2$  apresentados foram significativos no teste F ( $P < 0,05$ ).

#### 4 CONCLUSÕES

Os incrementos máximos de matéria seca total de 48 g para o SCA e de 51 g para o SC, ocorrem quando são aplicadas doses de 534 e 668 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

De modo geral, os maiores teores e conteúdos de Cu são obtidos com a fonte SC nas doses de 250, 500 e 1000 g ha<sup>-1</sup> de Cu.

As maiores eficiências de absorção e de utilização são constatadas para o SC e SCA, respectivamente, enquanto a eficiência de translocação é semelhante para as duas fontes.

#### 5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de doutorado. À EPAMIG, por fornecer mudas e análises de solo e de matéria seca realizadas. A empresa Café Brasil, pelo suporte financeiro ao projeto.

#### 6 REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ANDRE, C. M. et al. Dietary antioxidants and oxidative stress from a human and plant perspective: a review. **Current Nutrition and Food Science**, Chicago, v. 6, n. 1, p. 2-12, 2010.
- BAILIAN, L.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, London, v. 37, p. 613-628, 1991.
- BARBOSAI, R. H. et al. Foliar copper uptake by maize plants: effects on growth and yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 9, p. 1561-1568, 2013.
- BELLION, M. et al. Extracellular and cellular mechanisms sustaining metal tolerance in ectomycorrhizal fungi. **FEMS Microbiology Letters**, Birmingham, v. 254, p. 173-181, 2006.
- BOUAZIZI, H. et al. Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 73, p. 1304-1308, 2010.
- CARMO, D. L. et al. Micronutrientes em solo e folha de cafeeiro sob sistema agroflorestal no sul de minas gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 76-83, 2012.
- CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L.; SILVA, N. R. N. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 42-49, 2012.
- CASALI, C. A. et al. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na serra gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1479-1487, 2008.
- CHIEN, S. H.; HAMMOND, L. L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 935-939, 1978.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: MANLIO, S. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; UFV, 2006. p. 327-354.
- DUCIC, T.; POLLE, A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 17, p. 103-112, 2005.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, p. 109-112, 2014.
- GONTIJO, R. A. N. 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.
- 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**, Dordrecht, v. 333, p. 365-373, 2010.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 118, p. 1-24, jun. 2007.
- LUNA, C. M.; CASANO, I. M.; TRIPPI, V. S. Nitrate reductase is inhibited in leaves of *Tricum aestivum* treated with high levels of copper. **Physiology Plant**, Copenhagen, v. 101, p. 103-108, 1997.

- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 143-167.
- MIYAZAWA, M. et al. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. p. 191-233.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. (Ed.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253.
- OKANO, K. et al. Investigation on the carbon and nitrogen transfer from a terminal leaf to the root systems of rice plant by adouble tracer method with  $^{14}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ . **Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 52, n. 1, p. 331-341, 1983.
- REYMÃO, F. **Química inorgânica experimental: preparação de compostos de coordenação**. Disponível em: <[http://www2.ufpa.br/quimdist/livros\\_2/livro\\_quim\\_inorg\\_experimental/7a%20aula\\_comp\\_cood.pdf](http://www2.ufpa.br/quimdist/livros_2/livro_quim_inorg_experimental/7a%20aula_comp_cood.pdf)>. Acesso em: 5 nov. 2012.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SILVA, F. C. et al. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: \_\_\_\_\_. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. p. 109-189.
- SOUZA, C. P. C. **Disponibilidade de cobre e zinco em fertilizantes minerais e materiais secundários**. 2011. 181 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2011.
- SOUZA, L. H. et al. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1641-1652, 2010.
- SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Alexandria, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.