



## Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos. II. Composição mineral<sup>1</sup>

Hemmannuella C. Santos<sup>2</sup>, Vânia S. Fraga<sup>3</sup>, Roberto W. C. Raposo<sup>3</sup> & Walter E. Pereira<sup>4</sup>

### RESUMO

Os micronutrientes Cu e Zn possuem importantes funções no metabolismo vegetal, mas, infelizmente, estudos sobre as exigências em micronutrientes para a cultura do sorgo, são escassos. Com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de Cu e Zn nos atributos nutricionais da cultura do sorgo e no teor de proteína bruta, realizou-se um experimento em ambiente protegido e se utilizou delineamento em blocos casualizados, com a combinação de cinco doses de Cu (0, 0,26, 0,90, 1,54 e 1,80 mg kg<sup>-1</sup>) e cinco doses de Zn (0, 0,32, 1,1, 1,88 e 2,2 mg kg<sup>-1</sup>), combinadas na matriz Composto Central de Box, perfazendo 9 tratamentos, os quais foram aplicados em três classes de solo (Latosolo, Luvisolo e Neossolo), com 3 repetições; aos 96 dias após a semeadura avaliaram-se os teores e acúmulo de nutrientes nas plantas de sorgo; a aplicação de Cu resultou em incrementos nos teores e acúmulo de N, P, K e Cu, e no teor de proteína bruta dos grãos, o mesmo não ocorrendo para o Zn. Entre os solos, o Luvisolo foi o mais responsivo à aplicação dos nutrientes.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, micronutrientes, nutrição mineral

## Cu e Zn in sorghum cultivated in three soil classes. II. Mineral composition

### ABSTRACT

The micronutrients copper and zinc have important functions in vegetable metabolism, but studies about micronutrient needs for sorghum are scarce. Aiming to evaluate the effect of copper and zinc application in nutritional attributes of sorghum an experiment was carried out in a randomized block experimental design with a combination of five doses of copper (0, 0.26, 0.90, 1.54 and 1.80 mg kg<sup>-1</sup>) and five doses of zinc (0, 0.32, 1.1, 1.88 and 2.2 mg kg<sup>-1</sup>) combined by Box Central Composite design, resulting in nine treatments, which were applied in three soil classes (Latosol, Alfisol and Entisol), with three replications. Ninety six days after sowing, nutrients contents and accumulation and protein contents were determined. The copper application increased nitrogen, phosphorus, potassium and copper contents and crude protein content in grains, however, the same results were not observed for zinc application. Alfisol was the soil most responsive to the application of nutrients.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, micronutrients, mineral nutrition

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pela primeira autora ao Programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água, CCA/UFPB

<sup>2</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/UFPB. CEP 58397-000, Areia, PB. Fone: (83) 3362-2300. E-mail: hecosantos@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Departamento de Solos e Engenharia Rural/UFPB. Fone: (83) 3362-2300. E-mail: vfraga@cca.ufpb.br; rwcraposo@cca.ufpb.br

<sup>4</sup> Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais/UFPB. Fone: (83) 3362-2300. E-mail: wep@cca.ufpb.br

## INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) não é apenas uma planta originária da África mas, também, o quinto cereal mais importante no mundo, precedido do trigo, arroz, milho e cevada; sua utilização na alimentação humana é comum em grande parte dos países da África, Sul da Ásia e América Central e um componente imprescindível da alimentação animal nos Estados Unidos, Austrália e América do Sul.

No Estado da Paraíba os solos, em sua maioria, são derivados de rochas ígneas muito ácidas, o que lhes sugere a característica de serem deficientes em micronutrientes catiônicos, a exemplo do cobre e do zinco; no entanto, não há dados sobre a disponibilidade de micronutrientes nos solos da região (Dechen & Nachtigall, 2006; Menezes et al., 2005). Citam-se, entre as classes de solo mais encontradas no Estado da Paraíba, os Neossolos e os Luvisolos que, juntos, representam mais de 60% dos solos do Estado (Brasil, 1972). Os Neossolos e Luvisolos são menos apropriados à agricultura, por se encontrarem, geralmente, em regiões mais áridas e de relevo mais acidentado; já os Latossolos, formados sob condições de alta pluviosidade e relevo mais plano, são os preferidos pelos agricultores para a implantação de agricultura de subsistência; tais características tornam as três classes de solo importantes para o Estado da Paraíba, sendo necessários estudos elucidativos sobre a disponibilidade de micronutrientes nessas classes de solo.

Os micronutrientes cobre e zinco são tão significativos para o desenvolvimento das culturas quanto os macronutrientes, por exercerem funções vitais nas plantas, como componente estrutural de proteínas e participarem de processos de fotossíntese, respiração, regulação hormonal, fixação de nitrogênio (efeito indireto) e metabolismo de compostos secundários, no caso do cobre, além de síntese de clorofila em algumas plantas, participando dos processos de respiração, controle hormonal e síntese de proteínas, no caso do zinco (Taiz & Zeiger, 2004; Marschner, 1995).

A adubação com cobre e zinco e a interação entre esses elementos podem influenciar a absorção de outros elementos pelas plantas causando deficiência nutricional (Gomes et

al., 2006; Furlani et al., 2005; Bertoni et al., 1999); neste aspecto se propõe, com o presente trabalho, avaliar, em ambiente protegido, os teores e acúmulo de nutrientes nos grãos de sorgo, em função da aplicação de cobre e zinco em três classes de solo da Paraíba.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido em ambiente protegido pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Rural, localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, município de Areia, PB, situado a 6° 58' de latitude Sul e 35° 41' de longitude Oeste e 575 m de altitude.

Os solos, classificados como Latossolo Amarelo (LA), Luvisolo Háptico (TX) e Neossolo Quartzarênico (RQ), foram coletados na profundidade de 0 a 20 cm nos municípios de Bananeiras, Solânea e Esperança, respectivamente. Após serem secados ao ar, os solos foram destorroados, passados em peneira de 2,0 mm de malha e caracterizados física e quimicamente (Tabela 1), nos Laboratórios de Análise de Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural/CCA/UFPB em Areia, PB, segundo metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com três repetições; os tratamentos consistiram de cinco doses de Cu e de cinco doses de Zn, totalizando nove combinações geradas através da matriz Composto Central de Box (Mateus et al., 2001), aplicado nos três solos, em que a parcela experimental constou de um vaso com uma planta de sorgo, perfazendo 81 unidades experimentais (3 repetições × 9 tratamentos × 3 solos). As combinações de Cu e Zn foram, em mg kg<sup>-1</sup>: T<sub>1</sub>, 0,26 e 0,32; T<sub>2</sub>, 0,26 e 1,88; T<sub>3</sub>, 1,54 e 0,32; T<sub>4</sub>, 1,54 e 1,88; T<sub>5</sub>, 0,0 e 1,10; T<sub>6</sub>, 0,90 e 0,0; T<sub>7</sub>, 1,80 e 1,10; T<sub>8</sub>, 0,90 e 2,20; e T<sub>9</sub>, 0,90 e 1,10. As doses máximas de Cu (1,80 mg kg<sup>-1</sup>) e Zn (2,2 mg kg<sup>-1</sup>) foram definidas de acordo com a recomendação para interpretação de análises de solos da CFSEMG (1999) que indica esses teores de micronutrientes como adequados para a maioria das culturas.

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas dos solos utilizados no experimento antes da aplicação dos tratamentos com Cu e Zn

Solos	Atributos físicos							
	Areia	Silte	Argila	ADA	GF	DS	DP	PT
	g kg <sup>-1</sup>					g cm <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
LA	680	38	282	64	773	1,18	2,62	0,55
TX	650	91	259	101	610	1,20	2,66	0,55
RQ	910	26	64	25	609	1,43	2,60	0,45
Solos	Atributos químicos							
	pH	P <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Ca + Mg <sup>2</sup>	H + Al <sup>3</sup>	Carbono	Cu <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	
LA	5,4	2,76	40,81	2,55	8,09	10,17	n.d. <sup>4</sup>	0,35
TX	6,0	2,76	144,64	3,30	2,15	7,26	n.d.	0,64
RQ	6,9	26,87	111,49	3,10	0,58	4,71	n.d.	1,14

LA: Latossolo Amarelo; TX: Luvisolo Háptico; RQ: Neossolo Regolítico; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de floculação; DS: Densidade do solo; DP: Densidade de partícula; PT: Porosidade total; <sup>1</sup> P, K, Cu e Zn determinados pelo extrator Mehlich-1; <sup>2</sup> Ca + Mg extraído com KCl 1M; <sup>3</sup> H + Al extraído com acetato de cálcio; <sup>4</sup> não detectável com extração por Mehlich-1 e determinação por espectrometria de absorção atômica

Utilizaram-se soluções de  $\text{CuCl}$  e  $\text{ZnCl}_2$  calculadas para conter, em 10 mL de solução, a quantidade de nutrientes para cada tratamento, separadamente; as doses foram aplicadas ao solo parceladas em três vezes (plantio, 15 e 30 dias após o plantio).

As exigências nutricionais em macro e micronutrientes foram supridas de acordo com Malavolta (1980), excetuando-se o Cu e o Zn; aplicaram-se, em  $\text{mg kg}^{-1}$ , 300 de N; 200 de P; 150 de K; 75 de Ca; 15 de Mg; 0,5 de B; 5 de Fe; 3 de Mn e 0,1 de Mo. Os nutrientes, em forma de solução, foram aplicados quinzenalmente, em cinco parcelas, sendo o P aplicado em parcela única e uniforme, em todo o solo do vaso.

Oito sementes do híbrido Pioneer 8419, de ciclo precoce, foram semeadas em sacos plásticos com 7 kg de solo, que foram acondicionados dentro de vasos de polietileno; aos 15 dias após o plantio foi realizado o desbaste deixando-se uma planta por vaso; a irrigação dos vasos foi efetuada com base no seu peso mantendo-se a umidade em torno da capacidade de campo de cada solo.

Determinaram-se, ao final do experimento, 96 dias após o plantio, os teores de N, P, K, Cu e Zn nos grãos, conforme Tedesco et al. (1995). A acumulação dos nutrientes na parte aérea e grãos foi calculada relacionando-se a matéria seca produzida e seus teores nos tecidos, enquanto a quantidade de proteína bruta (PB) dos grãos foi calculada pela multiplicação do N-total pelo fator 6,25.

Os resultados foram submetidos a análise de variância; o efeito das doses de Cu e Zn foi avaliado através da curva ou superfície de resposta, obtida mediante regressão, enquanto as classes de solo foram comparadas por contrastes considerando-se o solo menos intemperizado e os mais intemperizados (RQ vs LA e TX), e entre os mais intemperizados (LA vs TX).

Fez-se a escolha do modelo de regressão com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), na significância dos parâmetros e pelo significado biológico do fenômeno, testados pelo teste F até 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de regressão quadrática e linear foram os que melhor se ajustaram para o teor de N nos grãos de sorgo das plantas cultivadas no LA e TX, respectivamente, não havendo influência no RQ (Figura 1A); já para o teor de P nos grãos, o modelo que melhor se ajustou foi o quadrático no LA: no entanto, não se observaram efeitos da aplicação de Cu no TX nem no RQ (Figura 1B). O acúmulo de N nos grãos de sorgo cultivados no LA e TX sofreu incremento quadrático e linear com a aplicação de doses de Cu, respectivamente; o mesmo não foi observado no RQ (Figura 1C). Houve incremento linear no acúmulo de P nos grãos de sorgo com a aplicação de doses crescentes de Cu no LA, já no TX e no RQ não se observaram efeitos da adubação cúprica (Figura 1D). O acúmulo de nutrientes na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de doses de Cu, foi estudado por Berto-

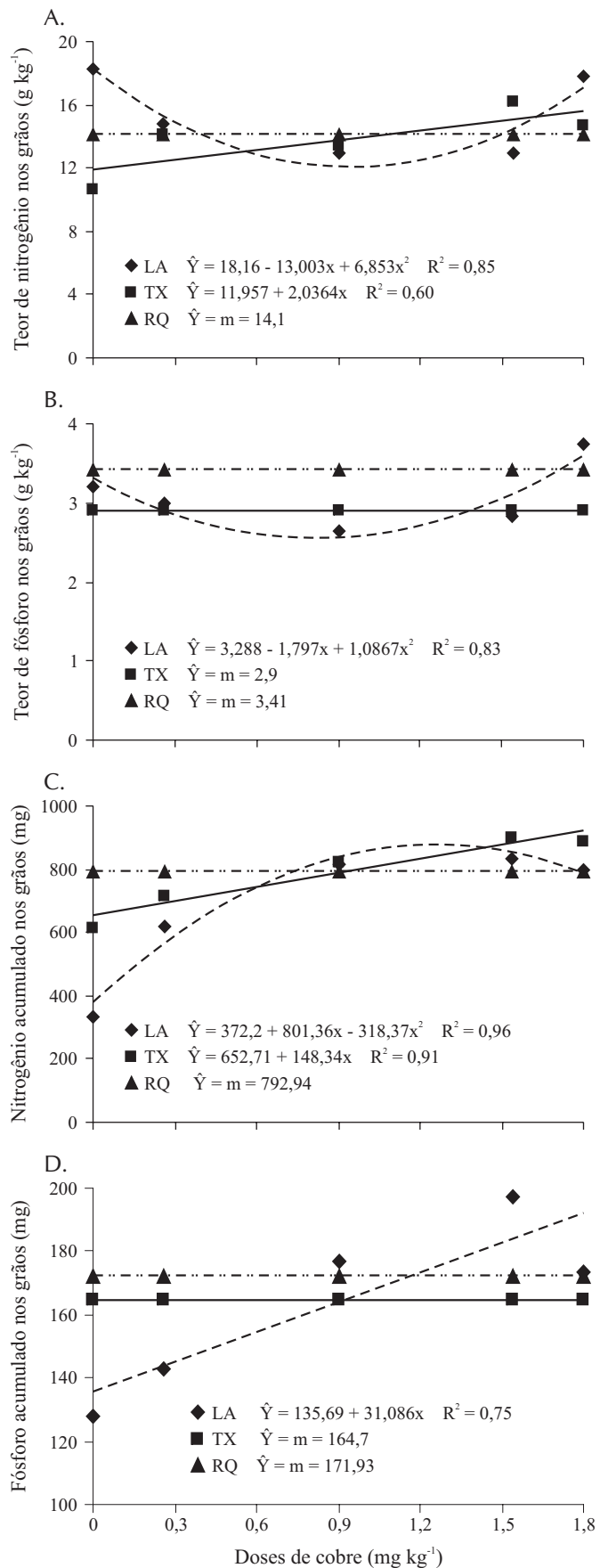


Figura 1. Teor (A e B) e acúmulo (C e D) de nitrogênio e fósforo nos grãos de sorgo, influenciados por doses de cobre em solos, Latossolo (LA), Luvisolo (TX) e Neossolo (RQ), da Paraíba

ni et al. (1999) em três solos de Minas Gerais, porém não se constataram diferenças entre as doses aplicadas, resultado que discorda dos encontrados no presente trabalho; isto se deve, sem dúvida, aos menores teores de cobre encontrados originalmente nos solos do presente trabalho contrastando com os altos teores de cobre do citado trabalho.

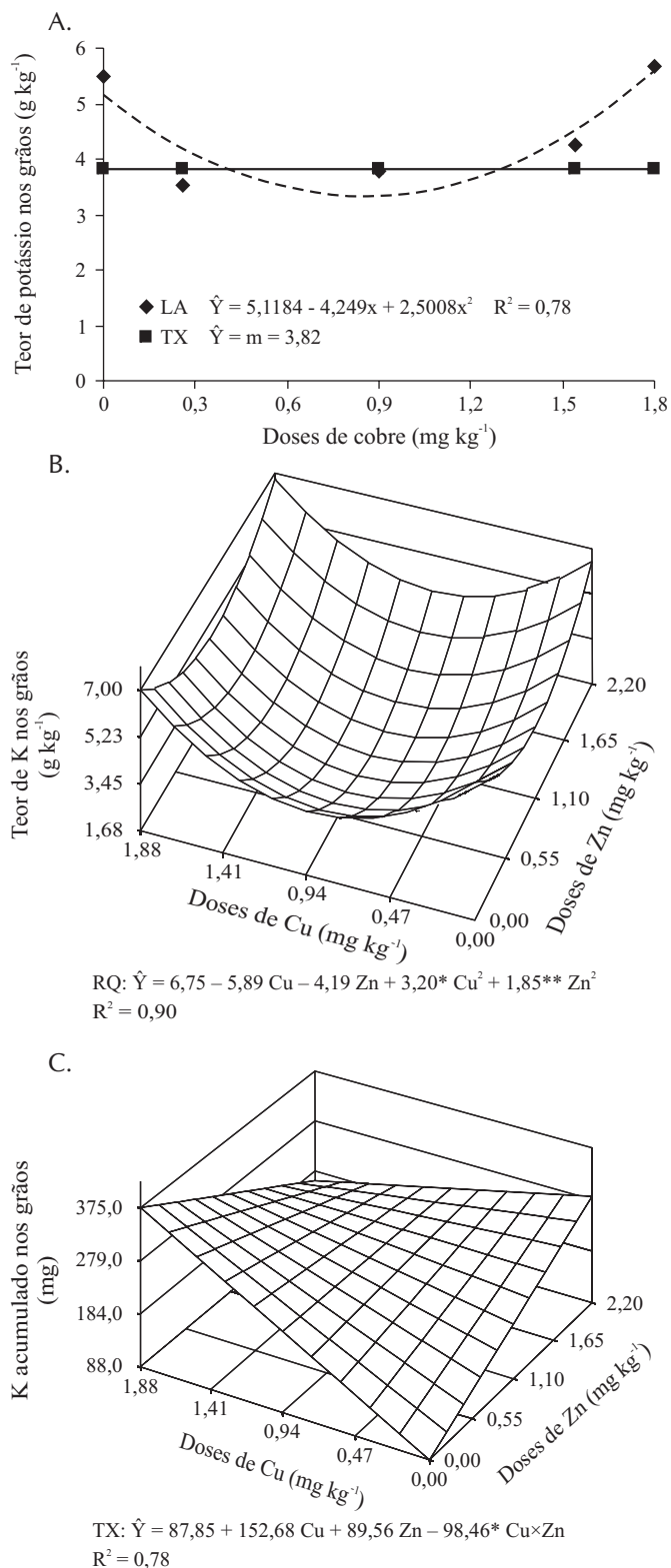
Nos solos do semi-árido nordestino, o N e o P são os elementos mais limitantes. Estima-se que 97, 57 e 83% dos Latossolos, Luvisolos e Neossolos dessa região (com exceção dos encontrados nos Estados do Piauí e Maranhão) possuem baixos teores de P, porém em relação ao enxofre e aos micronutrientes não há muitos dados disponíveis (Menezes et al., 2005); esses baixos teores naturais são, em grande parte, responsáveis pelas baixas produções e pelo baixo acúmulo de nutrientes nas plantas.

Resultados discrepantes são encontrados na literatura em relação à absorção e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas, com a aplicação de micronutrientes, em especial do Cu. A adubação cúprica tanto pode não influenciar a absorção e acúmulo dos macronutrientes N, P e K (Bertoni et al., 1999; Marsola et al., 2005), como ter efeito sinérgico na absorção de P e K, como observado em plantas de arroz e feijão, por Fageria (2002). Em plantas de soja, Sfredo et al. (1997) observaram aumentos nos teores de N e decréscimo nos teores de P e K nos grãos, em relação à testemunha, com a adição de produtos contendo Cu, mas, como os produtos continham outros nutrientes, não se pode afirmar que foi o efeito isolado do Cu que gerou esses resultados.

Obtiveram-se os maiores teores de K nos grãos das plantas cultivadas no RQ com a combinação da maior dose de Cu e da menor dose de Zn, evidenciando mais uma vez o efeito antagônico entre os nutrientes (Figura 2B). O acúmulo de K nos grãos de sorgo sofreu interação negativa com a aplicação de Cu e Zn no TX (Figura 2C), em que a maior dose de Cu e a menor dose de Zn proporcionaram o maior acúmulo de K, que foi de 375 mg. Esta interação ocorreu devido, provavelmente, à competição dos cátions pelos sítios de absorção (Marschner, 1995).

Entre os solos não houve diferença para o teor de N nem de K, nos grãos; já para P, os maiores teores foram observados nos grãos das plantas cultivadas no RQ (Tabela 2). Os resultados apresentados para P discordam da afirmativa de Dechen & Nachtigall (2006) de que um dos efeitos do excesso de Cu é a redução na absorção de P, já que o RQ foi o solo que apresentou, originalmente, o menor teor de argila e carbono orgânico (Tabela 1) e, teoricamente, disponibilizaria mais Cu na solução do solo, o que resultaria na diminuição na absorção de P, fato que não foi observado no presente trabalho. A estimativa dos contrastes não se mostrou significativa para acumulação de N e P em nenhum dos solos (Tabela 2).

A combinação das doses 0,92 mg kg<sup>-1</sup> de Cu e 1,11 mg kg<sup>-1</sup> de Zn resultou no maior teor de Cu nos grãos das plantas do TX; já no RQ se observaram incrementos lineares com o aumento das doses de Cu no solo (Tabela 3). Os maiores teores médios de Cu nos grãos foram notados nas plantas cul-



**Figura 2.** Teor (A e B) e acúmulo (C) de potássio nos grãos de sorgo influenciados por doses de cobre em solos Latossolo (LA), Luvisolo (TX) e Neossolo (RQ) da Paraíba

tivadas no RQ, seguidos do TX e LA (Tabela 2). O efeito antagônico entre Cu e Zn também foi constatado para os teores de Zn nos grãos de sorgo das plantas cultivadas no LA (Tabela 3); já o maior teor estimado de Zn nos grãos de sorgo das plantas cultivadas no RQ, 10,6 mg kg<sup>-1</sup>, seria

**Tabela 2.** Valores médios e estimativa dos contrastes para as variáveis teor de N, P, K, Cu e Zn; acúmulo de N (aN), P (aP), K (aK), Cu (aCu) e Zn (aZn) e Proteína Bruta (PB), nos grãos de sorgo em três classes de solo do Estado da Paraíba, influenciados por doses de Cu e Zn

Parâmetros <sup>1</sup>	Valores médios <sup>2</sup>			Estimativa dos contrastes	
	Solos			Contrastes	
	LA	TX	RQ	RQ vs LA e TX	LA vs TX
N (g kg <sup>-1</sup> )	14,5	14,0	14,0	-0,37 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>
P (g kg <sup>-1</sup> )	2,94	2,97	3,34	0,77 <sup>**</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
K (g kg <sup>-1</sup> )	4,22	3,96	3,84	-0,50 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0,73	1,08	2,02	2,23 <sup>**</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	10,9	7,26	9,20	0,19 <sup>ns</sup>	3,69 <sup>**</sup>
aN (mg)	720,33	798,2	808,12	97,71 <sup>ns</sup>	-77,87 <sup>ns</sup>
aP (mg)	168,05	167,11	177,75	20,34 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>
aK (mg)	212,9	226,31	220,30	1,39 <sup>ns</sup>	-13,41 <sup>ns</sup>
aCu (mg)	0,082	0,067	0,073	-0,003 <sup>ns</sup>	0,015 <sup>ns</sup>
aZn (mg)	0,49	0,46	0,48	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
PB (%)	9,06	8,75	8,78	-0,25 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>

<sup>1</sup> Parâmetros avaliados nos grãos; <sup>2</sup> Os valores médios são calculados com todas as plantas, sem distinção entre as doses de Cu e Zn aplicadas;

\*, \*\*, ns: significativo a 5%, 1% e não significativo pelo teste F, respectivamente; LA: Latossolo Amarelo; TX: Luvisso Háplico; RQ: Neossolo Quartzarênico

obtido com a dose 1,32 mg kg<sup>-1</sup> de Zn. Os grãos das plantas de sorgo cultivadas no LA apresentaram maiores teores médios de Zn nos grãos, 10,9 mg kg<sup>-1</sup> em relação às do TX, 7,26 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 2).

**Tabela 3.** Equações de regressão dos teores, acúmulo de nutrientes e proteína bruta em grãos de sorgo, em função de doses de Cu e Zn em três solos da Paraíba

Solo	Equação	R <sup>2</sup>
	Teor de Cu nos grãos	
RQ	Y = 1,26 + 0,79* Cu	0,70
TX	Y = -2,58 + 8,18 Cu + 4,74 Zn - 4,42** Cu <sup>2</sup> - 2,13** Zn <sup>2</sup>	0,85
	Teor de Zn nos grãos	
RQ	Y = 6,42 + 6,32 Zn - 2,38* Zn <sup>2</sup>	0,91
LA	Y = 12,83 - 14,96 Cu + 2,21 Zn + 7,81** Cu <sup>2</sup>	0,86
	Zn acumulado nos grãos	
LA	Y = 0,39 + 0,11* Zn <sup>2</sup>	0,75
	Proteína Bruta	
LA	Y = 11,35 - 8,12 Cu + 4,28** Cu <sup>2</sup>	0,85
TX	Y = 7,47 + 1,27* Cu	0,60

LA: Latossolo Amarelo; TX: Luvisso Háplico; RQ: Neossolo Quartzarênico; \*, \*\*: significativo a 5 e 1% pelo teste F, respectivamente

O aumento nos teores de Cu na parte aérea das plantas submetidas a adubação cúprica, também foi observado em outros trabalhos (Khurana et al., 2006; Luchese et al., 2004; Liao et al., 2000; Mocquot et al., 1996). As folhas, caules e raízes, são indicados como maiores órgãos acumuladores de Cu por plantas de milho, em oposição aos grãos e sabugo (Martins et al., 2003); no entanto, uma translocação direta de Cu das raízes para os grãos, com folhas superiores como intermediárias devido, sem dúvida, à alta afinidade do Cu com o N do grupo amino, foi observada por Jarausch-Wehrheim et al. (1996), que citam os grãos como órgãos mais armazenadores, chegando mesmo a armazenar cerca de 20%

do total de Cu da planta. Aumentos nas concentrações de Zn na parte aérea das plantas submetidas a adubação com Zn também foram observados em outros trabalhos (Galdos et al., 2004; Martins et al., 2003; Brennan & Bolland, 2002; Stoyanova & Doncheva, 2002; Andreotti et al., 2001; Rengel & Graham, 1995).

A aplicação de Cu não influenciou o acúmulo de Cu e Zn nos grãos de sorgo cultivados em nenhum dos solos e a estimativa dos contrastes também não se mostrou significativa (Tabela 2); já a aplicação de Zn aumentou linearmente o acúmulo de Zn nos grãos de sorgo nas plantas cultivadas no LA (Tabela 3).

Os teores de proteína bruta dos grãos de sorgo, oriundos de plantas cultivadas no LA, decresceram com a aplicação de doses crescentes de Cu até a dose de 0,98 mg kg<sup>-1</sup>, quando então começaram a aumentar mas este aumento não atingiu o teor de proteína alcançado com a menor dose de Cu, que foi de 10,60% (Tabela 3). Nas plantas cultivadas no TX, o teor de proteína bruta dos grãos aumentou linearmente com o incremento das doses de Cu (Tabela 3). Trabalhando com doses de Cu em plantas de canola, Khurana et al. (2006) observaram aumentos na porcentagem de proteína bruta até a dose de 10 μM de Cu, a partir da qual houve decréscimo, o que pode ser consequência da acumulação de N não protéico nas sementes de canola sob condições de estresse de Cu.

## CONCLUSÕES

1. Os teores e acúmulo de N, P, K, Cu e a proteína bruta dos grãos, aumentaram com a adubação cúprica.
2. O Zn influenciou apenas o acúmulo de Zn nos grãos mas apresentou interação negativa com o Cu no acúmulo de K nos grãos de sorgo.
3. Com a aplicação de Cu e Zn, o TX apresentou plantas com maiores valores médios para acúmulo de K nos grãos de sorgo.

## LITERATURA CITADA

- Andreotti, M.; Souza, E. C. A.; Crusciol, C. A. C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. *Scientia Agrícola*, v.58, n.2, p.321-327, 2001.
- Bertoni, J. C.; Holanda, F. S. R.; Carvalho, J. G.; de Paula, M. B.; Assis, M. P. Efeito do cobre na nutrição do arroz irrigado por inundação – teores e acúmulo de nutrientes. *Ciência e Agrotecnologia*, v.23, n.3, p.547-559, 1999.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório e de reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/ Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1972. 683p. Boletim Técnico, 15.
- Brennan, R. F.; Bolland, D. A. Relative effectiveness of soil-applied zinc for four crop species. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.42, n.7, p.985-993, 2002.

- CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. aproximação. Viçosa, 1999. 359p.
- Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. Micronutrientes. In: Fernandes, M. S. (ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap.13. p.327-354.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- Fageria, N. K. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.12, p.1765-1772, 2002.
- Furlani, A. M. C.; Furlani, P. R.; Meda, A. R.; Duarte, A. P. Efficiency of maize cultivars for zinc uptake and use. Scientia Agricola, v.62, n.3, p.264-273, 2005.
- Galdos, M. V.; de Maria, I. C.; Camargo, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, n.3, p.569-577, 2004.
- Gomes, S. B. V.; Nascimento, C. W. A.; Biondi, C. M.; Accioly, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. Ciência Rural, v.36, n.6, p.1689-1695, 2006.
- Jarausch-Wehrheim, B.; Mocquot, B.; Mench, M. Uptake and partitioning of sludge-borne copper in field-grown maize (*Zea mays* L.). European Journal of Agronomy, v.5, p.259-271, 1996.
- Khurana, N.; Singh, M. V.; Chatterjee, C. Copper stress alters physiology and deteriorates seed quality of rapeseed. Journal of Plant Nutrition, v.29, p.93-101, 2006.
- Liao, M. T.; Hedley, M. J.; Woley, D. J.; Brooks, R. R.; Nichols, M. A. Copper uptake and translocation in chicory (*Chicorium intybus* L. cv. Grasslands Puna) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Rondy) plants grown in NFT system. I. Copper uptake and distribution in plants. Plant and Soil, v.221, p.135-142, 2000.
- Luchese, A. V.; Gonçalves Junior, A. C.; Luchese, E. B.; Braccini, M. C. L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. Ciência Rural, v.34, n.6, p.1949-1952, 2004.
- Malavolta, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- Marsola, T.; Miyazawa, M.; Pavan, M. A. Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, p.92-98, 2005.
- Martins, A. L. C.; Bataglia, O. C.; Camargo, O. A.; Cantarella, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.563-574, 2003.
- Mateus, N. B.; Barbin, D.; Conagin, A. Viabilidade de uso do delineamento composto central. Acta Scientiarum, v.23, n.6, p.1537-1546, 2001.
- Menezes, R. S. C.; Garrido, M. S.; Perez, A. M. Fertilidade dos solos no semi-árido. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, 2005, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. CD- Rom.
- Mocquot, B.; Vangronsveld, J.; Clijsters, H.; Mench, M. Copper toxicity in young maize (*Zea mays* L.) plants: effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and enzyme activities. Plant and Soil, v.182, p.287-300, 1996.
- Rengel, Z.; Graham, R. D. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. II. Grain yield. Plant and Soil, v.173, p.267-274, 1995.
- Sfredo, G. J.; Borkert, C. M.; Nepomuceno, A. L.; Oliveira, M. C. N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p.41-45, 1997.
- Stoyanova, Z.; Doncheva, S. The effect of zinc supply and succinate treatment on plant growth and mineral uptake in pea plant. Brazilian Journal of Plant Physiology, v.14, n.2, p.111-116, 2002.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bonhen, H.; Volkweiss, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.