

# Efeito da aplicação de zinco em sementes sobre a nutrição e a produção de massa seca de plantas de milho

Renata Moreira Leal<sup>1\*</sup>, Claudenir Facincani Franco<sup>2</sup>, Luiz Fernando Braghirolli<sup>2</sup>, Adriana Guirado Artur<sup>2</sup>, Debora Zumkeller Sabonaro<sup>2</sup>, Marcos Bettini<sup>2</sup> e Renato de Melo Prado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Agronomia (Área de Produção Vegetal), Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. <sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. <sup>3</sup>Departamento de Solos e Adubos, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: renatamleal@yahoo.com.br

**RESUMO.** O objetivo do trabalho foi o de avaliar o efeito do tratamento de sementes à aplicação de zinco sobre a nutrição e a produção de massa seca de plantas de milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de híbridos de milho (BRS 1001 e PZ 677), e cinco doses de zinco (0, 25, 50, 100 e 200 g de Zn por 20 kg de sementes), aplicados na forma de sulfato de zinco. Foi avaliado o efeito dos tratamentos sobre o índice de velocidade de emergência das plântulas e, após 28 dias da semeadura, avaliou-se a produção de massa seca e o teor de zinco na parte aérea e nas raízes. O aumento das doses promoveu elevação do teor de zinco na parte aérea e nas raízes das plântulas de milho, mesmo não existindo aumento significativo na produção da massa seca. Os níveis de zinco utilizados não proporcionaram sintomas de toxicidade nas plântulas.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., Zn, tratamento de semente.

**ABSTRACT. Effect of zinc application in seeds on the nutrition and production of dry matter of maize plants.** The objective of this study was to evaluate the effect of seeding treatment to zinc application as regards the nutrition and production of dry matter in maize plants. The experiment was conducted under greenhouse conditions, with completely randomized design, arranged in a 2 x 5 factorial and three replications. The treatments corresponded to two maize cultivars, the BRS 1001 and the PZ 677 and five rates of zinc (0, 25, 50, 100 and 200 g of Zn to 20 kg of seeds) as zinc sulfate. The effect on the outgrowth speed was followed after 28 days of sowing and the dry matter production and the zinc level in the leaves and roots were evaluated. There was accumulation in the level of zinc in the leaves and roots with an increase of the rates. However, a significant increase in the dry matter production was not observed. The plants did not present toxicity symptoms with the rates used.

**Key words:** *Zea mays* L., Zn, seed treatment.

## Introdução

A obtenção de altas produtividades na cultura do milho é indispensável para tornar a cultura economicamente viável e o fornecimento de micronutrientes, especialmente boro e zinco, é um dos fatores que contribui para o aumento da produtividade dessa gramínea, segundo Malavolta (1980). Entre esses micronutrientes, a importância do zinco para as culturas em solos brasileiros é indiscutível por causa da ocorrência freqüente de sua deficiência, principalmente naqueles solos não originados de rochas básicas (Abreu *et al.*, 2001).

Os solos tropicais, em geral, apresentam baixa concentração do elemento, seja pelo material de origem, pelas práticas de cultivo com uso intensivo de culturas sem a devida reposição ou, até mesmo, pela realização de práticas de cultivos inadequados, como a supercalagem (Lopes, 1984). Assim, nas condições de cerrado, solos muito arenosos ou, ainda, solos que receberam calagem excessiva à deficiência de Zn (Bissani e Bohnen, 2004) têm provocado reduções sensíveis no rendimento de algumas culturas, como a do arroz, do milho e da soja.

A deficiência de zinco é reconhecida como problema nutricional mundial para a produção das

culturas (Fageria, 2001), especialmente as gramíneas, que são exigentes neste nutriente. Isto ocorre porque o zinco desempenha funções importantes nas plantas como ativador enzimático, sendo requerido para a síntese do aminoácido triptofano, um precursor na biossíntese do AIA (Malavolta, 1980). Segundo Marschner (1985), o zinco participa dos processos metabólicos como um metal componente de enzimas, sendo um co-fator funcional, estrutural ou regulatório de um grande número de enzimas.

A carência desse metal pode causar sintomas de deficiência como clorose acentuada ao longo da nervura principal, encurtamento dos entrenós e menor produção de folhas novas, podendo aparecer tonalidades roxas no caule e nas folhas, além de redução no crescimento e na produção (Malavolta, 1980).

Tendo em vista a dificuldade de se aplicar uniformemente, por meio de adubos, quantidades pequenas de zinco para as culturas, destaca-se como alternativa viável o tratamento de sementes. O tratamento de sementes tem como princípio o de reserva desse micronutriente nas sementes que passa a ser uma importante fonte de prevenção do surgimento de sintomas iniciais de deficiência. Além disso, é uma técnica importante porque coloca o elemento em contato imediato com as primeiras raízes emitidas (Barbosa Filho *et al.*, 1982).

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi o de avaliar o efeito do tratamento de sementes à aplicação de zinco sobre a nutrição e a produção de massa seca de plantas de milho.

## Material e métodos

O experimento foi desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Estado de São Paulo, junto ao Departamento de Solos e Adubos, situado à latitude de 21°15'22"-S e longitude de 48°18'58"-W, com altitude média de 595 metros e clima tipo Cwa, conforme classificação de Köppen. O experimento foi conduzido no período de 3 de setembro a 1º de outubro de 2004, perfazendo 28 dias.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, com três repetições. Os tratamentos corresponderam a dois cultivares de milho, BRS 1001 (híbrido simples precoce) e PZ 677 (híbrido duplo precoce), e cinco doses de zinco (0, 25, 50, 100 e 200 g de Zn por 20 kg de semente), aplicadas na forma de sulfato de zinco (22% Zn). A unidade experimental foi constituída por bandejas de plástico (5 L) preenchidas com substrato inerte (areia grossa). Em

cada bandeja foram semeadas 50 sementes, totalizando 30 parcelas experimentais.

As doses de zinco foram dissolvidas em água deionizada e misturadas às sementes de milho, de acordo com cada tratamento. Em seguida, as sementes foram manualmente semeadas no substrato das bandejas. Após a semeadura, adicionou-se água deionizada na quantidade de 10% do peso da areia seca, sendo mantida a mesma umidade durante todo período experimental por meio de regas diárias.

Cinco dias após a semeadura, aplicou-se 500 mL da solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950), na concentração de 25%, omitindo-se o Zn.

Durante o período experimental, foi avaliado o índice de velocidade de emergência das plântulas (IVE), de acordo com a metodologia descrita por Vieira e Carvalho (1994). Aos 28 dias após a semeadura, foi efetuada a colheita, retirando-se as plântulas da bandeja. A seguir, procedeu-se à lavagem em água corrente para a retirada do excesso de areia e outras impurezas e, posteriormente, lavagem com água deionizada.

As plântulas foram separadas em parte aérea e raízes e secas em estufa com circulação forçada de ar, a aproximadamente 60-70°C, até massa constante. Em seguida, procedeu-se à determinação da massa seca da parte aérea e das raízes.

A análise química para a determinação do teor de Zn foi efetuada segundo a metodologia de Bataglia *et al.* (1983). Por meio dos resultados, calculou-se a quantidade de Zn acumulada na parte aérea e nas raízes das plântulas, bem como a taxa de translocação do elemento. Além disso, foi avaliada a eficiência de absorção dos híbridos, seguindo o método apresentado por Swiader *et al.* (1994).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Quando necessário, foram ajustadas curvas de regressão, escolhendo-se a equação matemática de melhor ajuste dos resultados.

## Resultados e discussão

Nas Tabelas que seguem, estão apresentados os resultados da análise de variância das características estudadas, em função das doses de Zn aplicadas via semente nos híbridos de milho. Os dados serão discutidos de acordo com o efeito dos tratamentos sobre o índice de velocidade de emergência, sobre a produção de massa seca e sobre o estado nutricional das plântulas.

### a) Efeito dos tratamentos no IVE e na produção de massa seca

Não houve diferença significativa das doses de Zn aplicadas às sementes de milho sobre o índice de velocidade de emergência (IVE), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e sobre a massa seca total (MST) das plântulas, resultados apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultado da análise de variância e valor do teste F para índice de velocidade de emergência (IVE), para massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST) das plântulas, em função das doses de zinco (D) aplicadas às sementes dos híbridos (H) de milho.

Fatores	IVE	MSPA	MSR	MST
D	1,23 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	2,29 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>
H	36,65**	75,71**	37,82**	81,96**
D x H	0,41 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>
C.V. (%)	5,5	8,0	9,9	16,7

<sup>ns</sup> e \*\*, não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Ribeiro (1993) verificou que a aplicação de zinco à semente de milho (0,5 g de Zn por kg de semente), nas formas Zn-Biocrop e Zn-MIQL-90A, proporcionaram aumento da massa seca das plantas de milho. Resultado semelhante foi obtido por Ribeiro *et al.* (1994) estudando o efeito da aplicação de zinco (2,5 g Zn por kg de semente) sobre sementes de milho (Vigna), utilizando diferentes fontes do elemento, em que verificaram aumento do IVE e da MST das plântulas com a aplicação de Zn às sementes. Galvão (1994) observou, ainda, aumento de 2.276 kg ha<sup>-1</sup> (58,7%) no rendimento de grãos de milho em relação à testemunha, com a aplicação de 40,1 g de Zn por kg de sementes, na forma de óxido de zinco.

Entretanto, Rosolem e Oliveira (1998), avaliando a produção de massa seca do milho até os 45 dias de cultivo, em função da aplicação de sulfato e zinco quelatizado (lignossulfonado), via tratamento de sementes, em duas doses (0 e 100 g de Zn ha<sup>-1</sup>), observaram que não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a produção de massa seca da parte aérea e da raiz das plantas de milho.

Houve diferença significativa entre os híbridos para o IVE, MSPA, MSR e MST das plântulas (Tabela 1). O híbrido PZ 677 produziu cerca de 26, 25 e 28% a mais de massa seca da parte aérea (MSPA), raízes (PMSR) e total (MST), respectivamente, em relação ao BRS 1001. Um dos fatores que poderia ter contribuído para a maior produção de massa seca do híbrido PZ 677 em relação ao híbrido BRS 1001 seria o maior IVE do

primeiro híbrido (Tabela 2).

**Tabela 2.** Índice de velocidade de emergência (IVE), massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST) das plântulas de milho em função dos híbridos.

Híbridos	IVE	MSPA	MSR		MST
			g		
BRS 1001	46,2 b	8,6 b	6,4 b		14,7 b
PZ 677	52,3 a	10,8 a	8,1 a		18,7 a

Letras iguais comparam médias na coluna e não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

### b) Efeito dos tratamentos sobre a nutrição das plântulas

A aplicação de Zn às sementes de milho proporcionou diferença significativa no teor e no acúmulo de Zn na parte aérea e nas raízes das plântulas (Tabela 3). Para os híbridos, houve diferença significativa em função da aplicação de Zn nas sementes para todas as características estudadas, exceto para o conteúdo de Zn acumulado na parte aérea (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resultado da análise de variância e valor do teste F para o teor de zinco na parte aérea (Zn-PA) e nas raízes (Zn-R), Zn acumulado na parte aérea (Zn-APA) e nas raízes (Zn-AR), e eficiência de absorção de Zn (Ef-A) em função das doses de zinco (D) aplicadas às sementes dos híbridos (H) de milho.

Fatores	Zn-PA	Zn-R	Zn-APA	Zn-AR	Ef-A
D	157,18**	249,85**	90,98**	159,50**	178,00**
H	18,46**	105,12**	0,35 ns	11,79**	122,20**
D x H	2,89*	11,56**	1,24 ns	9,30**	19,38**
C.V. (%)	16,9	12,5	21,9	14,9	16,1

<sup>ns</sup> e \*\*, não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O maior teor e acúmulo de Zn na parte aérea das plântulas de milho foram observados para o híbrido BRS 1001 (Tabela 4). Esse resultado pode ser explicado com base no efeito diluição, tendo em vista que o híbrido BRS 1001 apresentou a menor quantidade de massa seca total e, portanto, cresceu menos em relação ao PZ 677 e, desse modo, apresentou maior teor e acúmulo de zinco em seus tecidos.

**Tabela 4.** Teor de zinco na parte aérea (Zn-PA) e nas raízes (Zn-R), Zn acumulado na parte aérea (Zn-APA) e nas raízes (Zn-AR) das plântulas de milho em função dos híbridos.

Híbridos	Zn-PA	Zn-R	Zn-APA		Zn-AR
			mg kg <sup>-1</sup>		
BRS 1001	213,3 a	515,8 a	1,8 a		3,1 a
PZ 677	163,3 b	313,9 b	1,6 a		2,5 b

Letras iguais comparam médias na coluna e não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Além do efeito diluição, esses resultados podem ser explicados, também, com base na eficiência de absorção das plântulas, sendo que o híbrido BRS 1001 foi mais eficiente na absorção do Zn, quando comparado ao PZ 677, com exceção da dose zero (Tabela 6).

Analisando, ainda, a Tabela 4, verificou-se que não houve diferença significativa entre os híbridos para o acúmulo de zinco apenas na parte aérea das plântulas, visto que não houve efeito significativo na taxa de translocação ( $y$ ), em função das doses ( $x$ ),  $\hat{y} = 0,30^{ns}$ .

Por outro lado, a Tabela 2 revela, ainda, menor produção de massa seca das raízes em relação à parte aérea das plântulas de milho de ambos os híbridos. Entretanto, foi nas raízes que se verificou maior proporção no teor e acúmulo do elemento quando comparado à parte aérea (Tabela 4). Este acúmulo de zinco nas raízes das plântulas de milho, com a aplicação do elemento às sementes, foi proporcionalmente semelhante em todas as doses (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teor de zinco e zinco acumulado na parte aérea e nas raízes de plântulas de milho, em função das doses do elemento.

Doses	Teor de zinco ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
	Parte aérea		Raiz	
	BRS 1001	PZ 677	BRS 1001	PZ 677
0	20,7 Ad	29,7 Ac	34,0 Ac	44,3 Ad
25	111,3 Ac	77,7 Ac	313,3 Ad	184,3 Bc
50	163,0 Ac	98,0 Bc	450,0 Ac	191,0 Bc
100	306,7 Ab	194,7 Bb	736,7 Ab	373,3 Bb
200	465,0 Aa	416,7 Aa	1045,0 Aa	805,0 Ba
Doses	Zinco acumulado ( $\text{g parcela}^{-1}$ )			
	Parte aérea		Raízes	
	Média dos híbridos	BRS 1001	PZ 677	
0	0,2 d	0,2 Ad	0,3 Ad	
25	0,9 c	2,3 Ac	1,5 Bc	
50	1,2 c	3,1 Abc	1,6 Bc	
100	2,4 b	4,0 Ab	2,7 Bb	
200	4,1 a	5,6 Ba	6,5 Aa	

Letras maiúsculas e minúsculas comparam médias na linha e na coluna, respectivamente. Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 6.** Eficiência de absorção de zinco pelas plântulas de milho das doses de Zn aplicadas às sementes dos híbridos de milho.

Híbridos	Doses de zinco ( $\text{g de Zn por 20 kg de semente}$ )				
	0	25	50	100	200
BRS 1001	8,3 Ea	58,3 Da	92,5 Ca	162,8 Ba	283,4 Aa
PZ 677	9,5 Ea	31,1 Cb	35,5 Cb	67,8 Bb	150,5 Ab

Letras maiúsculas e minúsculas comparam médias na linha e na coluna, respectivamente. Letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Karlen *et al.* (1988) observaram que o zinco absorvido pelas plantas de milho concentrou-se principalmente nas raízes, sendo translocada para os grãos, que requerem maior quantidade durante a sua formação. Longnecker *et al.* (1993) relataram que o acúmulo de Zn nas raízes está estritamente correlacionado com a diminuição na massa seca nas mesmas.

De acordo com Marschner (1995), em condições de toxicidade, ou seja, elevadas doses de zinco, o

elemento é acumulado nas raízes por meio da complexação de ácidos orgânicos nos vacúolos. No caso do presente trabalho, infere-se que os resultados obtidos não foram devidos a doses tóxicas, mesmo porque não foram observados sintomas visuais de toxicidade, ainda que nas maiores doses.

A interação dos fatores doses e híbridos para a variável teor de zinco na parte aérea e raízes ocorreu pelo fato de que apenas nas doses intermediárias do elemento (50 e 100 g de Zn por 20 kg de semente) o híbrido BRS 1001 apresentou maior teor de zinco comparado ao híbrido PZ 677 (Tabela 5). Para o conteúdo de zinco, porém, houve interação dos fatores apenas nas raízes, e esta interação ocorreu especialmente pelo fato de que nas doses de 25, 50 e 100 g de Zn por 20 kg de semente ocorreu maior acúmulo de zinco na massa seca das raízes do híbrido BRS 1001 comparado ao PZ 677 (Tabela 5).

Rosolem e Oliveira (1998) avaliaram a produção de massa seca do milho até os 45 dias de cultivo, em função da utilização de duas fontes de zinco, aplicadas nas formas de sulfato e zinco quelatizado (lignossulfonado), via tratamento de sementes, com duas doses do elemento (0 e 100 g de Zn  $\text{ha}^{-1}$ ). Os autores observaram que não houve efeito significativo do tratamento de sementes na quantidade do nutriente acumulado na raiz e na planta inteira. Entretanto, os autores verificaram que o revestimento das sementes com zinco-lignossulfonado, apesar de não aumentar a absorção do elemento pelo milho, aumentou a translocação do nutriente para a parte aérea da planta, o que não foi observado para o zinco na forma de sulfato. Segundo Santa Maria *et al.* (1998), a forma quelatizada não fica adsorvida nos espaços livres e nas paredes das células, ligada a complexos orgânicos no vacúolo e no citoplasma das células da raiz, podendo, assim, ser translocado.

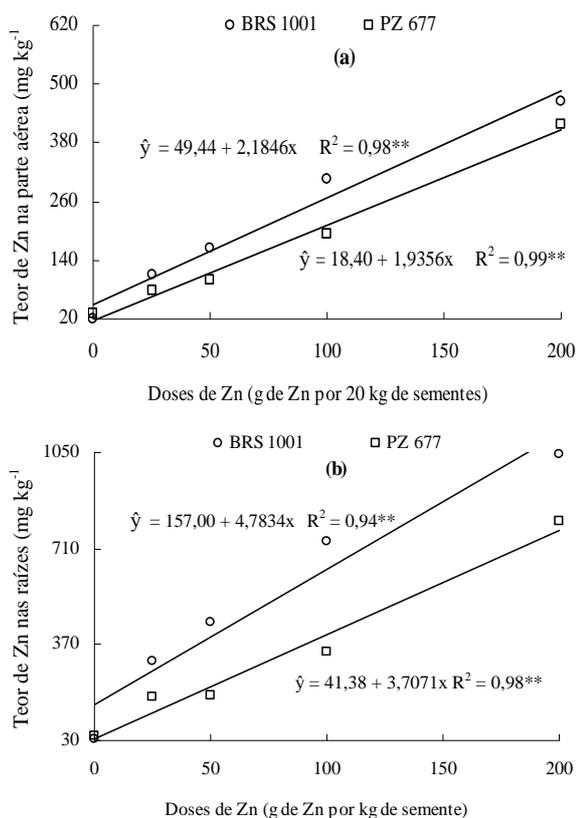
O teor de zinco na parte aérea do híbrido BRS 1001 foi de 20,7  $\text{mg kg}^{-1}$ , e para o híbrido PZ 677 foi de 29,7  $\text{mg kg}^{-1}$ , quando da não aplicação de zinco (0 g de Zn por 20 kg de semente) (Tabela 5). Esses valores estão acima do nível crítico relatados por Bataglia (1991) que é de 17  $\text{mg kg}^{-1}$ , Galvão (1995) de 18,5  $\text{mg kg}^{-1}$  e Fageria (2000) de 17  $\text{mg kg}^{-1}$ . As diferenças no teor de zinco obtido neste estudo em comparação com os dados da literatura devem-se a alguns fatores tais como: o tipo de folha amostrada para a determinação do teor de Zn, além da época de amostragem considerando o ciclo da cultura, pois,

no presente trabalho, as folhas foram coletadas para fins de determinação química de zinco aos 28 dias após a emergência e os teores determinados por Bataglia (1991) e Galvão (1995) foram obtidos em folhas recém-maduras, por ocasião do florescimento da cultura, enquanto que em Fageria (2000) a coleta das folhas foi realizada no final do crescimento da cultura do milho.

Outra explicação para o teor de zinco do tratamento testemunha de ambos os híbridos ter sido superior àqueles encontrados na literatura pode estar relacionado com a quantidade de zinco contido na semente, pois ressalta-se que as sementes de milho do presente estudo continham certa quantidade do elemento, que certamente serviu como reserva para o desenvolvimento e crescimento iniciais da planta. Para o híbrido BRS 1001, o teor determinado na semente foi de 17 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que para o híbrido PZ 677 o valor foi de 19 mg kg<sup>-1</sup>.

Fageria (1992) relatou ainda que o teor de Zn tido como tóxico na parte aérea de algumas culturas anuais é superior a 400 mg de Zn kg<sup>-1</sup>. Para a cultura do milho, o teor tóxico considerado é de 427 mg de Zn kg<sup>-1</sup> (Fageria, 2000). O valor de zinco determinado nos tecidos das folhas das plântulas de milho do híbrido BRS 1001 foi de 465,0 mg kg<sup>-1</sup> e de 416,7 mg kg<sup>-1</sup> para o PZ 677, na maior dose do elemento utilizada (200 g de Zn por 20 kg de semente). Apesar desses valores serem um pouco superiores ao relatado por Fageria (2000), não foram observados sintomas de toxicidade nas plântulas até os 28 dias de experimentação, que possivelmente pode ser explicado pelo uso de doses não tão elevadas de Zn, pelo próprio período de condução do experimento que foi de 28 dias, ou, até mesmo, pelos híbridos de milho utilizados no presente estudo serem tolerantes a níveis mais elevados do elemento em seus tecidos.

Observa-se, ainda, que a aplicação de Zn às sementes de milho incrementou de forma linear o teor de Zn, tanto na parte aérea (Figura 1a) quanto nas raízes (Figura 1b) das plântulas dos híbridos BRS 1001 e PZ 677. Comportamento linear também foi observado quanto ao zinco acumulado na parte aérea (média de dois híbridos) (Figura 2a), e nas raízes (Figura 2b) de ambos os híbridos. Fageria (2000) verificou comportamento quadrático no zinco acumulado, na parte aérea do milho, com a aplicação de doses de zinco (5, 10, 20, 40, 80 e 120 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de solo), em milho cultivado até os 35 dias após o plantio.



**Figura 1.** Teor de zinco na parte aérea (a) e nas raízes (b) das plântulas de milho, em função das doses de zinco aplicadas às sementes.

## Conclusão

O aumento das doses promoveu elevação do teor de zinco na parte aérea e nas raízes das plântulas de milho, mesmo não existindo aumento significativo na produção da massa seca. Os níveis de zinco utilizados não proporcionaram sintomas de toxicidade nas plântulas.

## Referências

- ABREU, C.A. *et al.* Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E. *et al.* *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, 2001. p. 125-150.
- BATAGLIA, O.C. *et al.* *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. (Boletim técnico, 78).
- BATAGLIA, O.C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. p. 289-308.
- BARBOSA FILHO, M.P. *et al.* Fontes de zinco e modos de aplicação sobre a produção de arroz em solos de cerrado. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 17, p. 1713-1719, 1982.
- BISSANI, C.A.; BOHNEN, C. Micronutrientes. In: BISSANI, C.A. *et al.* (Ed.). *Fertilidade dos solos e manejo da*

- adubação de culturas. Porto Alegre: Gênese, 2004. cap. 18, p. 221-238.
- FAGERIA, N.K. *Maximizing crop yields*. New York: Marcel Dekker, 1992.
- FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.
- FAGERIA, N.K. Screening method of lowland rice genotypes for zinc uptake efficiency. *Sci. Agric.*, Campina Grande, v. 58, n. 3, p. 623-626, 2001.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 18, p. 229-233, 1994.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 19, p. 255-260, 1995.
- HOAGLAND, D.; ARNON, D.I. *The water culture method for growing plants without soil*. Berkeley: Califórnia Agriculture Experimental Station Circular, 1950.
- KARLEN, D.L. et al. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. *Agron. J.*, Madison, v. 80, n. 2, p. 232-242, 1988.
- LONGNECKER, N. et al. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Sci.*, Madison, n. 1, v. 33, p. 154-160, 1993.
- LOPES, A.S. *Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo*. Piracicaba: Potafós, 1984.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.
- MARSCHNER, H. *Plant nutrition*. Stuttgart: Universitat Hohenheim, 1985.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. London: Academic Press Limited, 1995.
- RIBEIRO, N.D. *Germinação e vigor de sementes de milho tratadas com fontes de zinco e boro*. 1993. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.
- RIBEIRO, N.D. et al. Efeito do tratamento com fontes de zinco e boro na germinação e vigor de sementes de milho. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 481-485, 1994.
- ROSOLEM, A.C.; OLIVEIRA, R.F. Absorção de zinco pelo milho em função do modo de aplicação do modo de aplicação e fontes de nutrientes. *Científica*, São Paulo, v. 26, n. 1-2, p. 86-93, 1998.
- SANTA MARIA, G.E. et al. Bidirectional Zn-fluxes and compartmentation in wheat seedling roots. *J. Plant Physiol.*, Baltimore, v. 132, p. 312-315, 1998.
- SWIADER, J.M. et al. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 17, p. 1687-1699, 1994.
- VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. *Teste de vigor em sementes*. Jaboticabal: Funep, 1994.

Received on August 25, 2005.

Accepted on May 30, 2007.