



Acta Scientiarum. Agronomy

ISSN: 1679-9275

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

de Mello Prado, Renato; Romualdo, Liliane Maria; Rozane, Danilo Eduardo
Aplicação de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304: efeitos na nutrição e no crescimento inicial
Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 30, núm. 4, 2008, pp. 471-478
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026581005>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Aplicação de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304: efeitos na nutrição e no crescimento inicial

Renato de Mello Prado^{1*}, Liliane Maria Romualdo² e Danilo Eduardo Rozane²

¹Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14870-000, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. ²Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: rmp Prado@fcav.unesp.br

RESUMO. O efeito do zinco aplicado, em sementes na nutrição do sorgo, é afetado pelas fontes e doses empregadas. O presente trabalho objetivou avaliar a aplicação de zinco, a partir de duas fontes, sobre a nutrição e o crescimento inicial da cultura do sorgo cv. BRS 304, cultivado em areia. Os tratamentos foram cinco doses (0; 14,3; 28,6; 57,2 e 114,4 g kg⁻¹ de semente) e duas fontes de zinco, o sulfato (22% de Zn) e o óxido (50% de Zn). Aos 25 dias após a semeadura, efetuou-se o corte das plantas, e avaliou-se a massa seca da parte aérea e das raízes, e determinou-se o teor e o acúmulo de Zn nas plantas. A aplicação de 14 g Zn kg⁻¹ de sementes, na forma de óxido, proporcionou adequado crescimento inicial do sorgo cv. BRS 304. A fonte sulfato promoveu maior absorção do Zn pelas plantas, atingindo, na maior dose, alto teor do nutriente na parte aérea (> 4170 mg kg⁻¹) e o desenvolvimento dos sintomas característicos de fitotoxicidade.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, micronutriente, adubação, absorção.

ABSTRACT. Zinc application in seeds of sorghum cv. BRS 304: effects on nutrition and initial growth. The effect of zinc applied in seeds on the nutrition of sorghum is affected by the sources and applied rate. The present work aimed to evaluate zinc application, from two sources, on the nutrition and initial growth of a culture of sorghum cv. BRS 304, cultivated in sand. The treatments consisted of five rates (0, 14.3, 28.6, 57.2 and 114.4 g kg⁻¹ of seed) and two zinc sources – sulphate (22% Zn) and oxide (50% Zn). At 25 days after sowing, the plants were cut. The aerial and root dry mass was evaluated, and the levels and accumulation of Zn in the plants were determined. The application of 14 g Zn kg⁻¹ of seeds, in oxide form, provided adequate initial growth of sorghum cv. BRS 304. The sulphate source promoted greater absorption of Zn for the plants, reaching in its highest dosis, high levels of the nutrient in the aerial part (> 4170 mg kg⁻¹) and developing characteristic symptoms of phytotoxicity.

Key words: *Sorghum bicolor*, micronutrient, fertilization, absorption.

Introdução

Em condições tropicais, as deficiências de Zn são as mais frequentes, e há escassez de conhecimento sobre doses, fontes do nutriente e modos eficientes de aplicação, razões pelas quais este micronutriente tem limitado a produtividade da cultura do sorgo no Brasil. Este fato torna-se importante, em razão da importância do zinco na nutrição das plantas, sendo que a mais conhecida é sua participação na biossíntese do AIA (Malavolta, 1980), e atuando como ativador de uma série de enzimas importantes para o metabolismo das plantas.

A adubação com zinco, na cultura do sorgo, em áreas de cerrado, com baixo teor de Zn, torna-se prática agrícola importante para garantir a máxima produção da cultura. Esta resposta do sorgo à

aplicação de zinco tem sido relatada na literatura (Lockman, 1972; Alvarez Venegas, 1978; Ritchey *et al.*, 1986).

Para aumentar a eficiência da adubação com zinco na cultura do sorgo, estudos sobre modos de aplicação deste nutriente tornam-se importantes. Como as quantidades de micronutrientes exigidas pelo sorgo são baixas, isso dificulta sua aplicação uniforme no campo. Assim, uma forma promissora de aplicação do Zn seria via semente, a qual poderá garantir melhor uniformidade de aplicação e possibilitar que o nutriente esteja próximo ao sistema radicular das plântulas e promover maior absorção, pois é notório que o Zn tem baixa mobilidade no solo, tendo a fonte do nutriente grande importância, pois é conhecido que a eficiência agrônômica de uma fonte indica a

capacidade de corrigir deficiências ou aumentar a absorção dos nutrientes pelas plantas.

Salienta-se que os resultados de pesquisa com aplicação de Zn, em sementes na cultura do sorgo, são incipientes no Brasil. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a aplicação de zinco, a partir de duas fontes, sobre a nutrição e o crescimento inicial da cultura do sorgo cv. BRS 304, cultivado em areia.

Material e métodos

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, da FCAV/Unesp, em Jaboticabal, Estado de São Paulo. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial $2 \times 4 + 1$, com três repetições. Assim, além da testemunha "0 g de Zn", houve mais quatro doses: 100; 200; 400 e 800 g de Zn, por 7 kg de sementes, correspondendo a 14,3; 28,6; 57,2 e 114,4 g kg⁻¹ de semente e duas fontes de zinco, o sulfato (22% de Zn) e o óxido (50% de Zn).

A unidade experimental foi uma bandeja de polietileno translúcido, preenchida com 5 L de areia grossa lavada, com 50 sementes do sorgo cv. BRS 304.

Para a aplicação dos fertilizantes às sementes, realizou-se, inicialmente, dissolução da respectiva fonte em um recipiente com quantidade mínima de água, adicionando-se, esta mistura, a seguir, às sementes. Logo em seguida, efetuou-se a semeadura do sorgo nas bandejas com areia. Considerou-se que a dose de Zn foi integralmente aplicada nas unidades experimentais (bandejas).

A irrigação foi realizada com água deionizada, por meio de reposição periódica do volume, referente a 10% do peso da areia seca de cada recipiente. Aos oito e 17 dias, depois da semeadura, em cada recipiente, foi aplicada a solução nutritiva completa (Hoagland e Arnon, 1950), com omissão do Zn.

Aos 25 dias após a semeadura, efetuou-se o corte das plantas, separando-se a parte aérea e as raízes, que foram lavadas e secadas em estufa de circulação forçada de ar (70°C), até atingir massa constante. Nos tecidos vegetais, foram determinados os teores de macro e micronutrientes, conforme metodologia de Bataglia *et al.* (1983).

Com base nos resultados da massa seca da parte aérea e das raízes e no teor de Zn, calculou-se o acúmulo do nutriente nas plantas. Além disso, obteve-se a eficiência de absorção (em mg g⁻¹) (acúmulo de Zn na planta/matéria seca de raízes), a eficiência de transporte (em %) (acúmulo de Zn na planta/acúmulo de Zn nas raízes x 100) e a eficiência

de utilização (em g mg⁻¹) (matéria seca total produzida)²/(conteúdo total do nutriente na planta) (Siddiqi e Glass, 1981). Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, e as doses analisadas pelo estudo de regressão polinomial (Sas Institute, 1996).

Resultados e discussão

a) Efeito dos tratamentos na produção de matéria seca e no teor e acúmulo de zinco

Pelos resultados obtidos, constatou-se que houve efeito significativo das doses, fontes e da interação sobre a produção de matéria seca (parte aérea, raízes e planta inteira), teor e acúmulo de zinco na parte aérea e raízes do sorgo, em função da aplicação de fontes e doses de zinco nas sementes (Tabela 1).

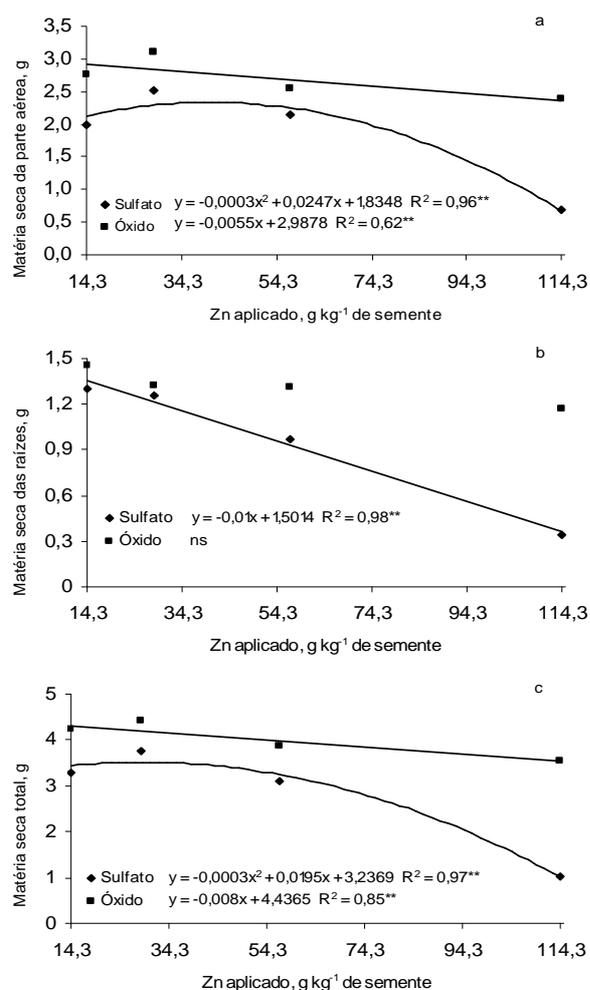
Pelos resultados, as doses de zinco afetaram, de forma quadrática e linear, a produção de matéria seca na parte aérea e na matéria seca total das plantas, com uso da fonte sulfato e óxido de zinco, respectivamente (Figuras 1a e c), já a produção de matéria seca nas raízes sofreu efeito linear com o uso da fonte sulfato e não-significativo à fonte óxido, pois os resultados obtidos não se ajustaram aos modelos de regressão estudados. Observa-se que a interação entre as fontes ocorreu nas maiores doses de Zn, onde a fonte sulfato, comparado ao óxido, promoveu maior queda na produção de matéria seca, especialmente das raízes (Figura 1b) e, conseqüentemente, da planta inteira (Figura 1c). Resultados semelhantes de diminuição do crescimento das plantas foram obtidos com a aplicação de Zn na forma de sulfato, tanto no milho, com aplicação do nutriente no solo (110 mg de Zn kg⁻¹) (Fageria, 2000), ou em sorgo, com aplicação do Zn em semente, cultivado em areia (até 28 g Zn kg de semente). Entretanto, Rashid e Fox (1992) observaram que a aplicação de 10 mg Zn kg⁻¹, em sementes de sorgo, foi suficiente para não limitar a produção da cultura.

Observou-se que o aumento das doses de Zn, pela fonte sulfato, elevou o teor do nutriente de forma quadrática na parte aérea e nas raízes, ao contrário da fonte óxido que proporcionou aumentos lineares (Figura 2a e b). Houve, também, acúmulo quadrático de Zn na parte aérea (Figura 2c) e na planta toda (Figura 2e) para a fonte sulfato; já para o acúmulo nas raízes os resultados obtidos não se ajustaram aos modelos de regressão estudados (Figura 2d). Para a fonte óxido, como ocorreu para o teor, todos os ajustes apresentaram-se crescentes e lineares no acúmulo de Zn na parte aérea, raízes e planta toda (Figuras 2a, b e c).

Tabela 1. Valor de F dos resultados da análise de variância, referente à produção de matéria seca, teor e acúmulo de zinco na parte aérea e raízes, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304.

Causa de variação	Matéria seca			Teor de Zn			Acúmulo de Zn		
	Parte aérea	Raiz	Planta inteira	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz	Planta inteira	
Doses (D)	g kg ⁻¹								
14,3	2,4	1,4	3,8	361,7	662,5	0,9	0,9	1,7	
28,6	2,8	1,3	4,1	715,0	875,0	2,1	1,1	3,0	
57,2	2,4	1,1	3,5	912,5	1081,7	2,0	1,2	3,2	
114,4	1,5	0,7	2,3	2305,0	2600,0	2,0	1,4	3,3	
Teste F	66,94**	30,94**	75,56**	199,07**	150,84**	18,31**	4,44*	15,89**	
Fontes (F)	mg kg ⁻¹								
Sulfato 1	1,8	1,0	2,8	1807	1825	2,4	1,3	3,7	
Óxido 2	2,7	1,3	4,0	340	784	0,9	1,1	1,9	
Teste F	176,74**	48,39**	178,24**	590,24**	210,71**	134,74**	8,64**	95,75**	
Trat. x Test.	28,46**	0,44*	17,52**	129,10**	125,58**	63,20**	61,02**	89,69**	
Interação	mg								
D x F	19,54**	11,88**	23,88**	166,43**	83,73**	11,38**	1,53*	6,99**	
Desdobramentos	mg kg ⁻¹								
Fonte dentro D1	34,64**	2,49 ^{ns}	25,86**	2,83 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,26 ^{ns}	
Fonte dentro D2	20,18**	0,33 ^{ns}	12,47**	54,30**	12,17**	61,76**	0,33 ^{ns}	52,76**	
Fonte dentro D3	9,92**	11,75**	17,16**	73,44**	9,28**	59,24**	1,76**	34,67**	
Fonte dentro D4	170,61**	69,45**	194,39**	958,96**	437,98**	47,26**	9,47**	28,03**	
Dose dentro F1	75,30**	39,97**	90,47**	364,43**	228,52**	29,06**	39,97**	20,74**	
Dose dentro F2	11,98**	2,85 ^{ns}	8,97**	1,07 ^{ns}	6,04*	0,63 ^{ns}	2,85 ^{ns}	2,14 ^{ns}	
CV(%)	7,2	10,7	67	15,4	15,0	18,0	17,0	17,9	

*; **; ns: resultados significativo pelo teste F a 1%, 5% e não-significativo a 5%, respectivamente.



A dose máxima de Zn (114 g kg⁻¹), na forma de sulfato, atingiu o teor de 4.175 e 4.100 mg kg⁻¹, respectivamente, na parte aérea e nas raízes (Figuras 2a e b). Ao passo que no uso do zinco na forma de óxido, os teores máximos foram menores, sendo que, na parte aérea, foi de 435 mg kg⁻¹ e, na raiz, foi de 1.100 mg kg⁻¹, com uso também da maior dose de zinco (114 g kg⁻¹) (Figuras 2a e b). Portanto, observou-se maior absorção de Zn pelas plantas de sorgo submetido ao uso do sulfato, comparado ao óxido. Esse fato pode estar relacionado com a solubilidade das fontes, justo que o Zn, presente na forma de sulfato, é mais disponível às plantas, comparado à fonte óxido (Vale, 2001).

A dose de Zn, na forma de óxido, que proporcionou a maior produção de matéria seca, foi a dose mínima de 14,3 g Zn kg⁻¹ nas sementes, a qual esteve associada com teor de Zn na parte aérea de 260 mg kg⁻¹. Em condições de campo, Cantarella *et al.* (1997) indicaram como adequado para o sorgo, os teores entre 15 e 50 mg Zn kg⁻¹, correspondentes às folhas + 4 com a bainha visível e coletadas por ocasião do florescimento. Essa diferença obtida, no teor de Zn, ocorreu em função de que no presente trabalho, consideraram-se plantas em início de crescimento, cultivadas em recipientes com areia e o tecido vegetal foi a parte aérea, enquanto que, na indicação de Cantarella *et al.* (1997), seria para plantas cultivadas em condições de campo, e o tecido vegetal seria a folha diagnose coletada no florescimento. Salienta-se que este teor de Zn, atingido na parte aérea (260 mg kg⁻¹), não provocou qualquer sintoma de toxicidade nas plantas, o que concorda com Yagi *et al.* (2006), que também observaram teor de Zn semelhante na parte

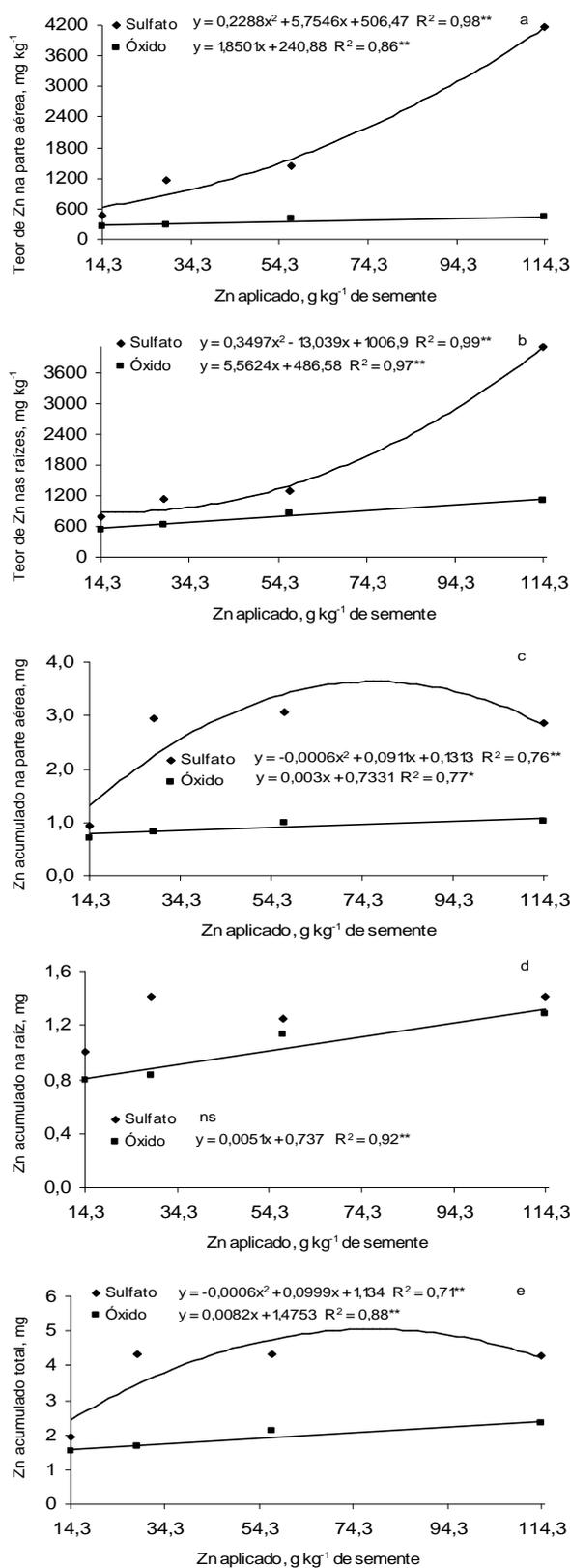


Figura 2. Efeito da aplicação de fontes de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304, no teor de Zn da parte aérea (a), raiz (b) e acúmulo de Zn da parte aérea (c), raízes (d) e total (planta inteira) (e) das plantas, em estágio inicial de crescimento.

aérea (234 mg kg⁻¹) do sorgo, em início de crescimento, sem qualquer sintoma nas plantas. Esta tolerância das plantas a altos teores de Zn é explicada, segundo Steffens (1990) em virtude do fato de que, no citoplasma da célula, ocorre a complexação do metal (Zn) com ácidos orgânicos (citrato) e inorgânicos (H₂S), fitatos e fitoquelatinas. Todos esses compostos formados são armazenados nos vacúolos, na forma menos tóxica para a planta.

Por outro lado, alta dose de Zn, na forma de sulfato, proporcionou teor de Zn muito alto na parte aérea das plantas de sorgo (4175 mg kg⁻¹), e, provocando, assim, desordens fisiológicas, causando a fitotoxicidade nas plantas, o que era esperado, pois, de forma geral, segundo Fageria (1992), o excesso tóxico de zinco, na parte aérea das culturas anuais, normalmente ocorre com teores maiores que 400 mg kg⁻¹ de matéria seca. Assim, o zinco, em altas concentrações na planta, pode provocar toxidez e, com isso, afetar a produção de matéria seca (Mengel e Kirkby, 1987).

A sintomatologia de toxicidade de Zn, nas plantas de sorgo, ocorreu inicialmente com diminuição da área foliar, seguida de clorose foliar, evoluindo para planta inteira, um pigmento pardo-avermelhado. A diminuição no tamanho das plantas é em razão do fato de que no xilema das plantas intoxicadas, acumularam tampões *plugs* contendo Zn, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta (Malavolta *et al.*, 1997) e pode interferir no metabolismo de carboidratos, inibindo o transporte de fotoassimilados (Samarakoon e Rauser, 1979), e afeta o crescimento da planta.

b) Efeitos dos tratamentos sobre a eficiência nutricional de zinco

O efeito das diferentes doses e fontes de zinco, sobre a eficiência de absorção, eficiência de transporte e eficiência de utilização do elemento pelas plantas de sorgo, são apresentados na Tabela 2.

A eficiência de absorção de Zn pelo sorgo aumentou linearmente com as doses de Zn, para ambas as fontes estudadas. No entanto, esse aumento, na absorção, foi mais expressivo com o uso da fonte sulfato (Figura 3a). Com relação às fontes, observou-se que a eficiência de absorção da fonte sulfato, comparada à fonte óxido, atingiu ponto máximo de 13,04 e 1,98 mg de Zn acumulado g⁻¹ de matéria seca de raízes, respectivamente (Figura 3a). Assim, a eficiência de absorção de Zn, com uso do sulfato, foi cerca de sete vezes superior à fonte óxido. Isto poderia explicar o maior efeito da fonte sulfato em incrementar o acúmulo do nutriente na planta (Figura 2e) e que, nas maiores doses do nutriente, promoveu desordem nutricional com os sintomas característicos discutidos anteriormente.

Tabela 2. Valor de F dos resultados da análise de variância, referente à eficiência de absorção, transporte e de utilização do zinco, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de Zn às sementes de sorgo cv. BRS 304.

Causa de variação	Eficiência de Absorção	Eficiência de Transporte	Eficiência de Utilização
Doses (D)			
g kg ⁻¹			
14,3	1,3	47,2	8,7
28,6	2,6	58,6	7,5
57,2	2,9	59,1	4,6
114,4	7,8	56,1	2,9
Teste F	51,53**	6,56**	19,24**
Fontes (F)			
Sulfato 1	5,6	63,2	2,9
Óxido 2	1,5	47,3	9,0
Teste F	117,05**	53,64**	98,93**
Trat. x Test.	34,9**	17,93**	1664,14**
Interação			
D X F	38,26**	6,60**	1,72 ^{ns}
Desdobramentos			
Fonte dentro D1	0,34 ^{ns}	0,0 ^{ns}	---
Fonte dentro D2	8,24**	14,80**	---
Fonte dentro D3	13,79**	30,15**	---
Fonte dentro D4	209,47**	28,39**	---
Dose dentro F1	89,21**	12,57**	---
Dose dentro F2	0,58 ^{ns}	0,59 ^{ns}	---
CV(%)	2,9	9,8	14,8

*; ns: resultados significativo pelo teste F, a 1% e não-significativo a 5%, respectivamente.

Houve diferença significativa da eficiência de transporte em função das doses, fontes e interação, à exceção da interação na eficiência de utilização (Tabela 2). Porém, os modelos de regressão estudados não se adequaram à fonte óxido, na eficiência de transporte (Figura 3b). Assim, com a aplicação do Zn, resultou em aumento significativo da eficiência de transporte do nutriente, apenas com o uso do sulfato, atingindo taxa máxima de 76%, na dose de 76 g kg⁻¹. O efeito quadrático, na eficiência de transporte do Zn em função da aplicação do nutriente, também foi relatado por outros autores (Soares *et al.*, 2001).

Quanto à eficiência de utilização, observou-se efeito quadrático significativo, proporcionando o aumento das doses (a queda) na eficiência de utilização, em ambas as fontes, porém se observou uma queda mais acentuada com o uso da fonte sulfato (Figura 3c). A menor queda, na eficiência de utilização do Zn pelo sorgo, com o uso da fonte óxido, ocorreu por causa da maior produção de matéria seca das plantas de sorgo e menor absorção de Zn obtido com a fonte óxido.

Portanto, notou-se que a aplicação de zinco em sementes, na forma de óxido, resultou em maior eficiência de utilização de Zn, comparada à forma de sulfato. Este fato, possivelmente, explicaria a maior produção de matéria seca (planta inteira) do sorgo com a aplicação do sulfato, conforme visto anteriormente (Tabela 1).

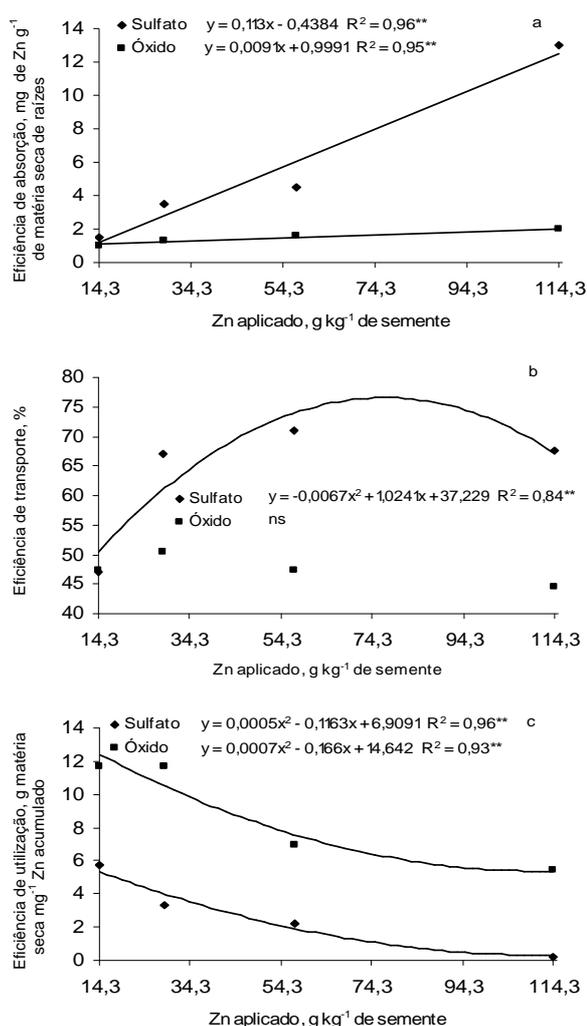


Figura 3. Efeito de fontes de zinco em sementes de sorgo cv. BRS 304, na eficiência de absorção (a), transporte (b) e utilização de zinco (c), em plantas em estágio inicial de desenvolvimento.

c) Efeito dos tratamentos sobre a nutrição dos macronutrientes e de B, Mn, Fe e Cu

Houve diferença significativa das doses de zinco sobre o acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea (Tabela 3) e na raiz (Tabela 4) do sorgo cv BRS 304. Na parte aérea o uso da fonte óxido promoveu maior acúmulo dos nutrientes avaliados, exceto S (Tabela 3), e, nas raízes, houve maior acúmulo de Ca, Cu e Mn (Tabela 4). Assim, a fonte óxido proporcionou maior absorção para a maioria dos nutrientes avaliados, o que poderia justificar os melhores efeitos desta fonte na produção de matéria da planta inteira (Tabela 1). Acrescenta-se, ainda, que o acúmulo de N, P, S e B, nas raízes, não foi apresentado em função da insuficiência de matéria seca para a análise.

Observou-se que a aplicação de Zn, na forma de sulfato, proporcionou um efeito linear no acúmulo dos nutrientes estudados na parte aérea e raiz, exceto o P e o S da parte aérea que e o K, Cu e Fe, no sistema radicular, apresentaram efeito quadrático, além do Cu, na parte aérea, que não teve ajuste significativo. Para a aplicação de Zn na forma de óxido, observou-se, também, acúmulo linear dos nutrientes em estudo, à exceção do Ca, na parte aérea, e do Cu, nas raízes, que apresentaram ajuste quadrático, além do K, S, Cu e Fe, na parte aérea,

que não obtiveram ajuste significativo (Tabela 5).

De forma geral, na maior dose do Zn houve queda na absorção dos nutrientes pelas plantas de sorgo, o que contribuiu para prejudicar o crescimento e conseqüentemente a evolução dos sintomas de toxicidade de Zn. Assim, os presentes sintomas, descritos anteriormente, poderão também ser afetados pela deficiência induzida por outros nutrientes. Soares *et al.* (2001) ressaltaram que a deficiência induzida (exemplo do Fe) é uma das possíveis causas da fitotoxicidade do Zn nas plantas.

Tabela 3. Valor de F dos resultados da análise de variância, referente ao acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de sorgo cv. BRS 304.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
Doses (D)	-----mg-----						-----µg-----			
g kg ⁻¹										
14,3	---	3,0	31,1	17,9	5,8	2,7	40,7	12,1	344,4	302,2
28,6	---	3,6	39,1	23,0	7,0	3,3	44,0	16,0	352,1	343,3
57,2	---	3,0	29,5	20,5	5,4	4,0	36,2	15,2	325,9	329,2
114,4	---	2,5	21,8	9,7	3,6	2,5	24,6	14,7	218,1	141,8
Teste F		11,77**	15,10**	76,95**	25,89**	15,10**	36,65**	4,02'	36,87**	90,06**
Fontes (F)										
Sulfato 1	---	2,84	22,18	15,15	4,6	3,63	30,25	10,16	310,99	261,40
Óxido 2	---	3,17	36,61	20,40	6,7	2,59	42,48	18,85	309,26	296,84
Teste F	---	6,07*	81,11**	63,65**	73,28**	37,72**	67,43**	105,77**	0,03 ^{ns}	13,05**
Trat. x Test.	---	17,90**	27,11**	19,63**	0,55 ^{ns}	25,95**	58,64**	1,66 ^{ns}	18,53**	24,66**
Interação										
DxF		3,93*	9,93**	19,27**	4,80*	14,48**	4,00*	2,38 ^{ns}	34,03**	29,58**
Desdobramentos										
Fonte dentro D1	---	14,52**	6,43*	2,89 ^{ns}	20,23**	1,70 ^{ns}	17,16**	---	27,33**	5,73*
Fonte dentro D2	---	0,02 ^{ns}	17,09**	3,48 ^{ns}	2,80 ^{ns}	1,48 ^{ns}	5,06*	---	0,60 ^{ns}	1,80 ^{ns}
Fonte dentro D3	---	0,48 ^{ns}	5,75*	3,30 ^{ns}	15,51**	77,03**	9,97**	---	6,54*	23,95**
Fonte dentro D4	---	2,85 ^{ns}	80,01**	111,77**	49,13**	1,06 ^{ns}	47,24**	---	67,63**	70,31**
Dose dentro F1	---	10,13**	19,7**	83,86**	26,20**	27,53**	28,74**	---	68,21**	102,47**
Dose dentro F2	---	5,57**	4,78*	12,35**	4,49*	2,05 ^{ns}	7,92**	---	2,69 ^{ns}	17,17**
CV (%)	---	11,3	15,5	9,3	12,6	14,0	10,6	14,4	8,3	8,8

*; **: resultados significativo pelo teste F, a 1% e não-significativo a 5%, respectivamente.

Tabela 4. Valor de F dos resultados da análise de variância, referente ao acúmulo de macro e micronutrientes das raízes, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de sorgo cv. BRS 304.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
Doses (D)	-----mg-----						-----µg-----			
g kg ⁻¹										
14,3	---	---	9,8	1,7	1,0	---	---	54,5	1756,3	105,5
28,6	---	---	8,5	1,7	0,9	---	---	33,1	1717,3	143,7
57,2	---	---	6,4	1,6	1,1	---	---	92,9	2309,1	149,7
114,4	---	---	3,5	0,9	1,0	---	---	44,8	1643,7	67,7
Teste F	---	---	56,71**	17,13**	17,38**	---	---	62,13**	34,89**	53,26**
Fontes (F)										
Sulfato 1	---	---	6,99	1,16	1,08	---	---	11,48	1643,27	101,62
Óxido 2	---	---	7,13	1,78	1,11	---	---	100,23	1569,93	155,16
Teste F	---	---	0,13 ^{ns}	52,86**	0,25 ^{ns}	---	---	302,55**	0,46 ^{ns}	98,23**
Trat. x Test.	---	---	17,72**	6,13*	0,62 ^{ns}	---	---	20,41**	22,84**	60,64**
Interação										
DxF			31,75**	9,30**	7,06**			55,94**	53,27**	5,84**
Desdobramentos										
Fonte dentro D1	---	---	36,33**	8,28**	3,50 ^{ns}	---	---	171,18**	0,0 ^{ns}	23,18**
Fonte dentro D2	---	---	0,62 ^{ns}	3,24 ^{ns}	0,14 ^{ns}	---	---	27,32**	50,55**	15,38**
Fonte dentro D3	---	---	0,01 ^{ns}	2,97 ^{ns}	2,15 ^{ns}	---	---	540,93**	15,95**	7,44*
Fonte dentro D4	---	---	58,43**	66,28**	15,63**	---	---	130,95**	93,76**	69,65**
Dose dentro F1	---	---	85,04**	25,33**	22,85**	---	---	0,66 ^{ns}	54,19**	45,89**
Dose dentro F2	---	---	3,42*	1,10 ^{ns}	1,59 ^{ns}	---	---	117,41**	33,96**	13,21**
CV (%)	---	---	13,8	14,6	15,6	---	---	15,4	15,7	10,8

*; **: resultados significativo pelo teste F, a 1% e não-significativo a 5%, respectivamente.

Tabela 5. Efeito da aplicação de sulfato e do óxido de zinco em sementes de sorgo var. BRS 304, sobre o acúmulo na parte aérea e na raiz de macronutrientes e B, Cu, Fe e Mn, das plântulas, em estágio inicial de crescimento.

Nutrientes	Parte aérea			Raiz		
	Equação	R ²	F	Equação	R ²	F
Fonte sulfato						
N	g kg ⁻¹	---	---	---	---	---
P	Y = 2,28 + 0,037x + 0,00033x ²	0,65	8,07*	---	---	---
K	Y = 35,00 - 0,239x	0,86	26,54**	Y = 13,91 - 0,161x + 0,00040x ²	0,98	254,34**
Ca	Y = 24,00 - 0,165x	0,74	663,30**	Y = 1,83 - 0,013x	0,85	89,22**
Mg	Y = 6,37 - 0,039x	0,72	42,62**	Y = 1,60 - 0,0098x	0,84	72,91**
S	Y = 0,96 + 0,134x - 0,00104x ²	0,93	43,51**	---	---	---
B	Y = 42,97 - 0,237x	0,87	89,93**	---	---	---
Cu	---	---	0,99 ^{ns}	Y = 7,14 + 0,292x - 0,00260x ²	0,99	38,13**
Fe	Y = 450,36 - 2,601x	0,92	111,63**	Y = -360,86 + 108,626x - 0,880x ²	0,91	258,09**
Mn	Y = 177,13 + 7,874x - 7,78358x ²	0,99	79,33**	Y = 156,04 - 0,102x	0,76	167,35**
Fonte óxido						
N	g kg ⁻¹	---	---	---	---	---
P	Y = 3,66 - 91,5871x	0,82	21,96**	---	---	---
K	---	---	0,59 ^{ns}	Y = 8,05 - 0,0170x	0,60	5,50*
Ca	Y = 17,87 + 0,188x - 0,00175x ²	0,73	42,46**	Y = 1,92 - 0,0027x	0,89	11,66**
Mg	Y = 7,64 - 0,018x	0,88	16,37**	Y = 1,25 - 0,0027x	0,90	5,41*
S	---	---	4,78 ^{ns}	---	---	---
B	Y = 49,50 - 0,131x	0,96	16,46**	---	---	---
Cu	---	---	0,47 ^{ns}	Y = 18,60 + 3,768x - 0,02773x ²	0,40	63,68**
Fe	---	---	0,51 ^{ns}	Y = 505,52 + 19,867x	0,97	80,43**
Mn	Y = 361,61 - 1,209x	0,87	87,66**	Y = 187,33 - 0,600x	0,92	23,25**

*; **; ns - Significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, e não-significativo, respectivamente.

Conclusão

A aplicação de 14 g Zn kg⁻¹ de sementes, na forma de óxido, proporcionou adequado crescimento inicial do sorgo cv. BRS 304.

A fonte sulfato promoveu maior absorção do Zn pelas plantas, atingindo, na maior dose, alto teor do nutriente na parte aérea (> 4170 mg kg⁻¹) e o desenvolvimento dos sintomas característicos de fitotoxicidade.

Agradecimentos

À Fapesp, pelo auxílio concedido à Pesquisa (Processo 2004/14662-6).

Referências

ALVAREZ VENEGAS, V.H. *et al.* Resposta do sorgo à aplicação de micronutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo de Itamarandiba, Minas Gerais. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 25, p. 79-86, 1978.

BATAGLIA, O.C. *et al.* *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. (Boletim técnico, 78).

CANTARELLA, H. *et al.* Sorgo-granífero, forrageiro e vassoura. In: RAIJ, B. van. *et al.* (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 66-67. (Boletim técnico, 100).

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. Agríc. Ambient.*, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. *The water culture method for growing plants without soil*. Berkeley: University of California. Agricultural Experiment Station, 1950. (Circular, 347).

LOCKMAN, R.B. Mineral composition of grain sorghum plant samples. Part II: as affected by soil acidity, soil fertility, stage of growth, variety, and climate factors. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v. 3, p. 283-293, 1972.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E. *et al.* *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafós, 1997.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition - Zinc*. Bern: International Potash Institute, 1987.

RASHID, A.; FOX, R.L. Evaluating internal zinc requirements of grain crops by seed analysis. *Agron. J.*, Madison, v. 84, p. 469-474, 1992.

RITCHEY, K.D. *et al.* Disponibilidade de zinco para as cultu-ras do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 21, p. 215-225, 1986.

SAMARAKOON, A.B.; RAUSER, W. Carbohydrate level and photoassimilate export from leaves of *Phaseolus vulgaris* exposed to excess cobalt, nickel and zinc. *Plant Physiol.*, Minneapolis, v. 63, n. 6, p. 1165-1169, 1979.

SAS Institute. *The SAS-system for windows: release 6.11 (software)*. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1996.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SOARES, C.R.F.S. *et al.* Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em

solução nutritiva. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 36, n. 2, p. 339-348, 2001.

STEFFENS, J.C. The heavy metal-binding peptides of plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, Palo Alto, v. 41, n. 1, p. 553-75, 1990.

VALE, F. *Avaliação e caracterização da disponibilidade do boro e zinco contidos em fertilizantes*. 2001. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo,

Piracicaba, 2001.

YAGI, R.M. et al. Aplicação de zinco via sementes e seu efeito na germinação, nutrição e desenvolvimento inicial do sorgo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 41, n. 4, p. 655-660, 2006.

Received on August 22, 2006.

Accepted on July 17, 2007.