

RESPOSTA DE PLÂNTULAS DE ARROZ À APLICAÇÃO DE ZINCO VIA SEMENTE¹

Renato de Mello Prado²; Danilo Eduardo Rozane³; Ronaldo Rosa Simões⁴;
Liliane Maria Romualdo⁵

²Depto. de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (FCAV/Unesp). Via de Acesso Prof. Dr. Paulo Donato Castellane, s/n. CEP: 14870-000, Jaboticabal-SP. e-mail: rmprado@fcav.unesp.br

³Doutorando, Depto. Solos e Adubos, FCAV/Unesp. e-mail: danilorozane@yahoo.com.br

⁴Graduando em Agronomia, FCAV/Unesp. e-mail: ronaldors3@yahoo.com.br

⁵Mestranda, Depto. Solos e Adubos, FCAV/Unesp. e-mail: lilianeromualdo@yahoo.com.br

RESUMO: O arroz de terras altas apresenta alta sensibilidade à deficiência de zinco, que pode restringir o crescimento da planta. Assim o presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco via semente, sobre a nutrição e o crescimento inicial da cultura do arroz de terras altas cultivar Caiapó. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em três repetições. Os tratamentos foram cinco doses 0; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 g de zinco por kg de semente em duas fontes, o sulfato de zinco e o óxido de zinco. Após 30 dias da semeadura, foram avaliados a massa seca da parte aérea e da raiz e o teor e acúmulo de zinco. A fonte sulfato de zinco promoveu maior produção de massa seca total nas plântulas de arroz em relação ao óxido. A aplicação de 3,92 g de zinco por kg de semente, na forma de sulfato, proporcionou o maior incremento na massa seca, superando a testemunha em 48%. O nível crítico de zinco da parte aérea foi de 194 mg kg⁻¹ em plântulas de arroz cultivar Caiapó.

Palavras-chave: fontes, massa seca, micronutriente, nutrição mineral, *Oryza sativa* L.

RESPONSE OF RICE SEEDLINGS TO SEED APPLICATION OF ZINC

ABSTRACT: Rice from high lands presents high sensitivity to zinc deficiency, which can restrict plant growth. The present work aimed to evaluate the effect of seed application of different zinc sources and concentrations on the initial nutrition and growth of the high land rice cultivar Caiapó. The experimental design used was the entirely randomized with three replicates. The treatments were five zinc concentrations 0; 1.0; 2.0; 4.0 and 8.0g per kg of seed and two zinc sources: zinc sulphate and zinc oxide. Thirty days after sowing the root and aerial dry matter and zinc content and accumulation were evaluated. Zinc sulphate provided greater production of total dry matter in rice seedlings in relation to zinc oxide. The application of 3.92g zinc per kg of seed, using the zinc sulphate source provided the greatest increment in dry matter with values 48% higher than the control. The zinc critical level for the aerial part was of 194 mg kg⁻¹ for seedlings of the cultivar Caiapó.

Key words: sources, dry matter, micronutrient, mineral nutrition, *Oryza sativa* L.

INTRODUÇÃO

A cultura do arroz é um dos cereais que apresenta maior resposta à aplicação de zinco (Galvão et al., 1978 e Moraes et al., 2004).

O zinco é um nutriente importante na nutrição de plantas, constituindo mais de 80 proteínas, além de ser um grande ativador enzimático, a exemplo do seu envolvimento na anidrase carbônica, dismutase de superóxido, desidrogenase de álcool e síntese do ácido indol acético (AIA). Algumas proteínas são responsáveis pela transcrição do DNA, onde o zinco

desempenha o papel de regular a conformação do domínio da proteína (Malavolta et al., 1997) e, portanto a deficiência de zinco provoca inibição severa no crescimento das plantas (Epstein e Bloom, 2006).

Assim, torna-se importante que o zinco seja fornecido desde a fase inicial de crescimento das plantas. A maioria dos trabalhos com a cultura do arroz de terras altas tem apresentado alta resposta à aplicação de zinco no solo, em experimentação de campo (Sakal, 1977; Galvão et al., 1978; Paula et al., 1990; Moraes et al., 2004) e casa de vegetação (Fageria, 2000a; Oliveira et al. 2003). Barbosa Filho et

¹Projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Proc. 2004/14662-6

al. (1982) e Leão (1990) também constataram aumento no rendimento de grãos de arroz de sequeiro com aplicação de zinco nas sementes. Slaton et al. (2001) acrescentam que a aplicação de zinco via semente de 2,2 a 5,7 g kg⁻¹ foi a alternativa mais econômica comparada com a aplicação no solo.

Deste modo, na fase de crescimento inicial do arroz, a aplicação de zinco nas sementes pode ser uma técnica importante, pois permite uniforme distribuição do nutriente na área e também garante a nutrição da planta no estágio inicial de crescimento, na qual o sistema radicular ainda é pouco desenvolvido, afetando a aquisição do nutriente no solo (Malavolta et al., 1997). Os resultados de pesquisas com aplicação de zinco em sementes na cultura do arroz têm indicado efeito positivo (Slaton et al., 2001) ou sem efeito significativo (Barbosa Filho et al., 1983), no crescimento das plantas. Assim, nota-se que os resultados da literatura são contraditórios e os estudos são escassos no Brasil, especialmente quanto às diferentes fontes de zinco.

Diante deste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco via semente sobre a nutrição e o crescimento inicial da cultura do arroz cultivar Caiapó.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, da FCAV/Unesp, campus Jaboticabal-SP, com coordenadas geográficas 21°15'22" Sul, 48°18'58" Oeste e altitude de 575 m.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 5 x 2, com três repetições. Os tratamentos consistiram de cinco doses de Zn 0; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 g por kg de semente em duas fontes, o sulfato de zinco (22% de Zn) e o óxido de zinco (50% de Zn), sendo empregada as duas fontes na forma de pó.

A unidade experimental foi uma bandeja de polietileno translúcida de dimensões: 30 cm de comprimento, 20 cm largura e 10 cm de altura, contendo 5 L de areia grossa lavada, onde foram semeadas 50 sementes de arroz cv. Caiapó.

Para a aplicação de zinco nas sementes, utilizou-se a técnica de umedecimento de sementes estabelecida segundo indicações de Volkweiss (1991), procedimento no qual mistura-se, em um Becker, as sementes com uma solução açucarada 10%, irrigando-se posteriormente com água deionizada de modo a manter a água no substrato com um valor de 10% do peso da massa seca. Em seguida foi efetuada a semeadura do arroz nas bandejas. Considerou-se que a dose de zinco foi integralmente aplicada nas unidades experimentais (bandejas). Durante o período experimental todos os tratamentos foram fertirrigados,

quando consumido 10% da capacidade máxima de retenção de água na bandeja, com solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950), menos zinco.

Aos 30 dias após a semeadura, efetuou-se o corte das plantas, separando-as em parte aérea e raízes. Todo o material vegetal foi lavado em água destilada, seco em estufa com circulação de ar à temperatura de 65 a 70°C, até atingir massa constante. Assim, foi obtida a massa seca das partes da planta e em seguida o material foi moído para as determinações químicas dos teores de zinco no tecido vegetal, seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

A partir da massa seca e do teor de zinco na planta, foram calculados os índices:

(a) eficiência de absorção = (conteúdo total do nutriente na planta - mg) / (massa seca de raízes - g), conforme Swiader et al. (1994);

(b) eficiência de transporte = (conteúdo do nutriente na parte aérea - mg) / (conteúdo total do nutriente na planta - mg) x 100, de acordo com Li et al. (1991);

(c) eficiência de utilização = (massa seca total produzida - g)² / (conteúdo total do nutriente na planta - mg), segundo Siddiqi e Glass (1981).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando-se para comparação das médias das fontes o teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As doses foram analisadas pelo estudo de regressão polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito dos tratamentos na produção de massa seca, teor e acúmulo de zinco

Verificou-se que houve efeito significativo das doses e fontes de zinco sobre a produção de massa seca (parte aérea, raiz e planta inteira), teor e acúmulo de zinco nas diferentes partes avaliadas do arroz, exceto para as fontes na massa seca da parte aérea e da planta inteira e do teor de zinco na raiz. Para a interação doses e fontes, verificou-se que houve diferença entre os tratamentos para as variáveis avaliadas, exceto no acúmulo de massa seca da parte aérea (Tabela 1).

Resultados semelhantes dos efeitos positivos das doses de zinco na produção de massa seca do arroz foram obtidos por outros autores (Galvão et al., 1978; Paula et al., 1990 e Moraes et al. 2004). Entretanto, Bonnetarrère et al. (2004) não observaram efeito significativo do zinco no desenvolvimento do arroz em solução nutritiva. Barbosa Filho et al. (1983) observaram que a aplicação de zinco nas sementes incrementou a altura do arroz. Além disso, o zinco afetou o perfilhamento do arroz refletindo na produção de massa seca (Assis et al., 2000).

Observou-se que as doses de zinco contribuíram para aumentar o acúmulo de massa seca de forma quadrática na raiz, na parte aérea e na planta inteira, em ambas as fontes empregadas, exceto na raiz para a fonte óxido de zinco, que não apresentou ajuste polinomial significativo (Figura 1a, b, c). Entretanto, para massa seca da parte aérea não houve diferença e

interação entre as fontes empregadas, tendo estas apresentado um comportamento quadrático no acúmulo médio (Tabela 1). Nota-se ainda que houve interação na massa seca da raiz e da planta inteira (Tabela 1), tendo a fonte sulfato se diferenciado da fonte óxido para massa seca da planta inteira (Figura 1c).

Tabela 1 - Valor de F e resultados médios da produção de massa seca, teor e acúmulo de zinco na parte aérea e raízes, em função da aplicação de fontes e doses de zinco às sementes de arroz cultivar Caiapó (30 dias após a semeadura).

Causa de variação	Massa seca			Teor de Zn		Acúmulo de Zn		
	Parte aérea	Raiz	Planta inteira	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz	Planta inteira
	----- g por planta -----			---- mg kg ⁻¹ ----		----- g por planta -----		
Teste F (Dose)	9,43**	24,37**	20,85**	2381,45**	639,13**	180,27**	76,13**	105,30**
Fontes								
Sulfato	1,4	2,6a	4,0	167,8a	274,83	236,15a	706,42a	942,57a
Óxido	1,4	2,3b	3,7	106,8b	280,70	155,72b	589,91b	745,62b
Teste F (Fonte)	2,21 ^{ns}	4,28*	2,24 ^{ns}	1685,26**	0,64 ^{ns}	91,63**	7,19*	18,18**
D x F	0,26 ^{ns}	3,54*	2,92*	518,81**	3,13**	31,02**	8,47**	8,35**
CV(%)	7,4	14,4	10,1	3,0	7,2	11,5	18,3	15,0

** , * e ^{ns} - Significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, e não significativo pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais, na vertical, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

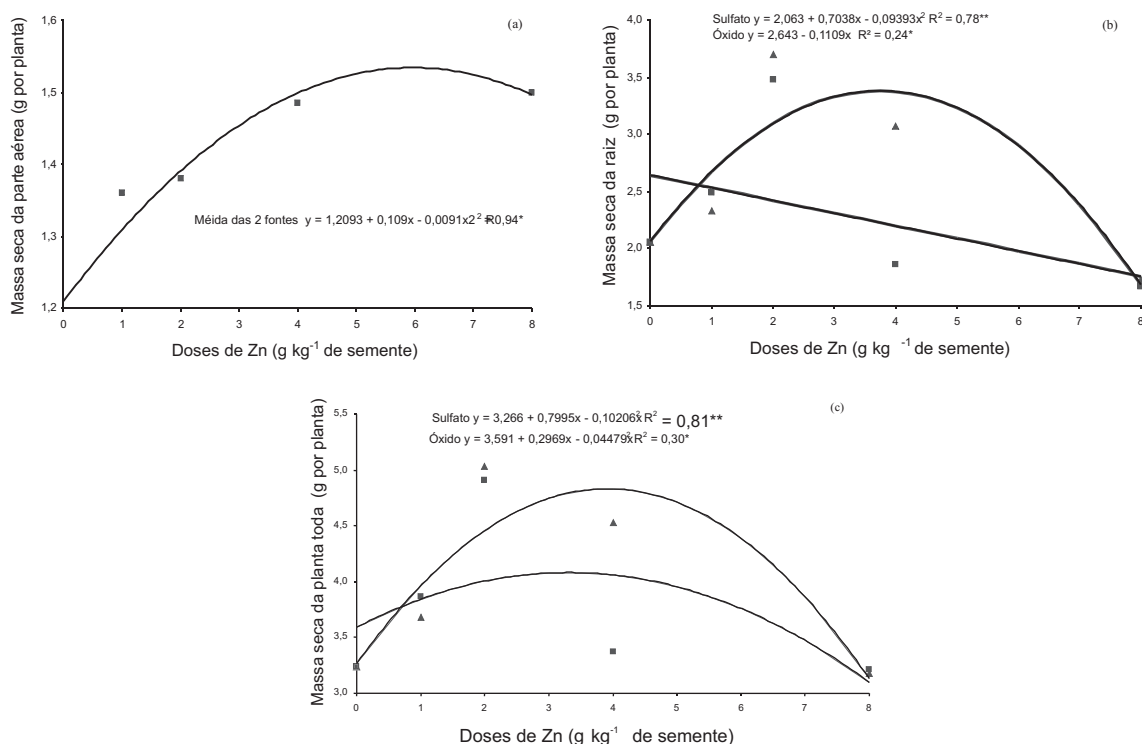


Figura 1 - Efeito da aplicação de fontes de zinco em sementes de arroz cultivar Caiapó, na produção de massa seca da parte aérea (a) (Dados médios das duas fontes, sulfato e óxido), raiz (b) e da planta inteira (c) em estágio inicial de crescimento (30 dias após a semeadura). ** e * - Significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Na dose máxima de zinco (8 g por kg de semente), as fontes foram semelhantes no efeito prejudicial ao crescimento da raiz e da planta inteira (Figuras 1b,c).

O incremento da produção de massa seca em função da absorção de zinco também foi verificado em arroz, por Schöffel e ColLúcio (2001). Este efeito do zinco no crescimento das plantas se deu em função da participação do nutriente na rota metabólica do triptofano para ácido indolacético (AIA), que é a principal auxina de crescimento (Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993).

No presente estudo houve maior produção de massa seca com o emprego da fonte sulfato de zinco, Barbosa Filho et al. (1982) concluíram que as fontes de zinco na forma de sulfato, cloreto e óxido foram semelhantes. Ohse et al. (1997) observaram que a fonte de sulfato de zinco comparado ao óxido de zinco, aplicado na semente de arroz, elevou a germinação. Este incremento na germinação possivelmente ocorreu em razão de sua função como ativador enzimático durante o processo germinativo (Ribeiro e Santos, 1996).

Salienta-se ainda, que resultados discordantes encontrados na literatura para melhor fonte de zinco relacionam-se entre outros, com o genótipo escolhido (Fageria et al., 1995), ao meio de cultivo empregado e à duração do experimento.

Apesar de não haver diferença entre as fontes para massa seca na planta inteira (Tabela 1), o sulfato de zinco na dose de 3,92 g de sulfato de zinco por kg de semente esteve associado com a maior produção de massa seca da planta inteira e proporcionou um ganho de 48% em relação à testemunha. Apenas a aplicação de zinco na forma de sulfato proporcionou incremento quadrático na massa seca da raiz com ponto de máximo na dose de 3,75 g de zinco por kg de semente. Ohse et al. (1997) também relataram que a aplicação de zinco como sulfato aumentou a produção de massa seca da parte aérea de arroz da ordem de 5,1% em relação à testemunha, entretanto, não houve efeito para a massa seca da raiz.

Obteve-se com o sulfato de zinco, maior teor de zinco na parte aérea e maior acúmulo na raiz e na parte aérea. Este maior acúmulo de zinco na planta com uso da fonte sulfato pode estar relacionado à solubilidade da mesma, sendo o sulfato mais solúvel em água. De acordo com Vale (2001), o zinco presente no sulfato é mais disponível para as plantas, do que aquele contido no óxido.

Assim, observou-se que com a aplicação de sulfato de zinco houve teor máximo do nutriente na parte aérea e raiz, de 350 e 497 mg kg⁻¹, respectivamente (Figura 2a,b), ao passo que o uso de óxido de zinco promoveu menor teor na parte aérea (161 mg kg⁻¹). Entretanto, na raiz foi semelhante à fonte sulfato (550 mg kg⁻¹) (Figura 2a,b). Apesar dos altos teores de

zinco na planta, não foram observados sintomas visuais de toxicidade, embora as altas doses de zinco tenham diminuído a produção de massa seca das plantas (Figura 1 a,b,c). Oliveira et al. (2005) também obtiveram alto teor de zinco (569 mg kg⁻¹) em plantas de arroz sem ter-se manifestado sintomas de toxicidade foliar. Já Fageria (2000a), cultivando arroz em solo, considerou tóxico um teor de zinco igual a 673 mg kg⁻¹.

O teor 209,1 mg kg⁻¹ zinco na parte aérea do tratamento com a fonte sulfato foi responsável pela maior produção de massa seca na planta inteira, entretanto se o desejado for atingir 90% da máxima produção, o teor seria de 194,3 mg kg⁻¹ (Figuras 1c e 2a). Fageria (2000a) observou que em plantas de arroz no final do ciclo, cultivadas em vasos com solo, o teor crítico foi de 67 mg kg⁻¹ e 47 mg kg⁻¹, respectivamente para uma produção de 100 e 90%. Em outros trabalhos foram observados desenvolvimentos normais em plantas de arroz cultivadas em vaso preenchido com solo, apresentando teor de zinco na parte aérea, variando de 180 mg kg⁻¹ (Camargo et al., 2000) até 569 mg kg⁻¹ (Oliveira et al., 2005).

O acúmulo maior de zinco nas raízes comparativamente à parte aérea deve-se ao fato da raiz ter atuado como "barreira" do elemento, para diminuir a possibilidade de toxicidade na planta, sendo um mecanismo de tolerância desses cultivares de arroz às altas doses do nutriente. Bingham et al. (1975) mostraram que, em gramíneas, o zinco acumula-se mais nas raízes do que na parte aérea. A tolerância das plantas ao excesso de zinco está relacionada ao fato da planta exudar substâncias quelantes nas raízes, por meio de ligação do metal às cargas existentes na parede celular (Wang e Evangelou, 1994) ou à complexação do zinco no citoplasma das células, por ácidos orgânicos (citrato) e inorgânicos (H₂S), fitatos e fitoquelatinas (Wang e Evangelou, 1994; Steffens, 1990). Esses compostos formados são armazenados nos vacúolos na forma menos tóxica para a planta, mas ao proceder a análise química no tecido vegetal este é quantificado inferindo alto teor na planta.

Efeito dos tratamentos sobre a eficiência nutricional de zinco

A eficiência de absorção, transporte e utilização foram afetadas significativamente pela aplicação de zinco. As fontes afetaram apenas a eficiência de transporte (Tabela 2). Como não houve diferença e interação na eficiência de absorção e utilização, observou-se que a aplicação de zinco independentemente da fonte, apresentou forma quadrática à eficiência de absorção e utilização (Figura 3 a, c).

A interação entre fontes e doses ocorreu apenas para a eficiência de transporte. Observou-se que a partir da dose que 4 g Zn por kg de semente, as fontes se diferenciaram, tendo o sulfato atingido a taxa máxima de

eficiência de 29,4%, na dose de 8 g por kg de semente, sendo que na dose zero, a eficiência foi superior a todas as doses estudadas (Figura 3b). Este fato pode ser explicado pela baixa concentração no substrato, pois todo o zinco contido na semente, provavelmente foi transportado para a parte aérea, a fim de desempenhar seu papel fisiológico na nutrição da planta.

Neste sentido, o instituto IRRI (1969 e 1977) indicaram que o teor de zinco da parte aérea de cultivares de arroz podem variar sob altas doses de zinco, pela maior capacidade de translocação do zinco do sistema radicular para a parte aérea.

A aplicação de zinco em sementes, na forma de sulfato, resultou em maior eficiência de transporte deste nutriente do que na forma de óxido. Possivelmente isto explicaria o maior acúmulo do zinco na parte aérea quando do uso desta fonte (Figura 3a). A dose de zinco que proporcionou os maiores teores do elemento foi 8 g por kg de semente, para as duas fontes, entretanto destacou-se a fonte sulfato (Figuras 2a,b,c). Ressalta-se que o maior desempenho da fonte sulfato em aumentar o transporte de zinco nas plantas não foi importante para aumentar o crescimento da planta, pois não houve diferença entre as fontes na produção de

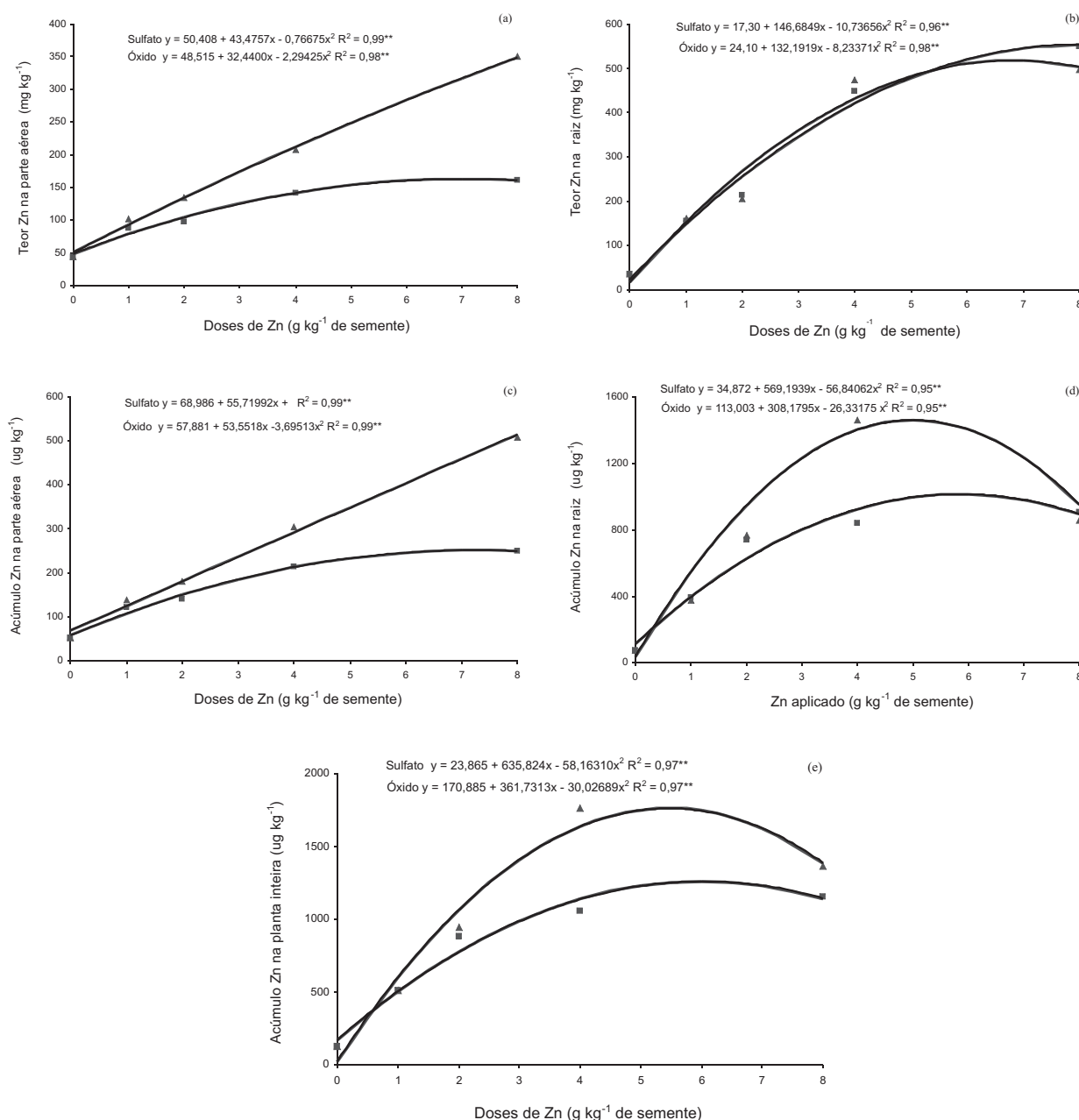


Figura 2 - Efeito da aplicação de fontes de zinco em sementes de arroz cultivar Caiapó, no teor de zinco da parte aérea (a), raiz (b) e acúmulo de zinco da parte aérea (c), raiz (d) e planta inteira (e), (30 dias após a semeadura). ** e * - Significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

massa seca da planta (Tabela 1), o que discorda de Gao et al. (2005) que constataram que a eficiência de transporte foi fator importante para explicar a produção de genótipos de arroz.

Observou-se que houve queda acentuada na eficiência de utilização do zinco com o aumento das doses do referido elemento, para ambas as fontes

(Figura 3c). Oliveira et al. (2003), trabalhando com resposta de dois cultivares de arroz à aplicação de zinco, observaram que a eficiência de utilização foi de 3,79 e 6,67 g de massa seca por mg de zinco adicionado aos cultivares de arroz IAC162 e IAC202, respectivamente, indicando, assim, que a IAC 202 é mais eficiente na utilização do zinco. Em trabalho

Tabela 2 - Valor de F e resultados médios da eficiência de absorção, transporte e de utilização do zinco, por planta, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de arroz cultivar Caiapó (30 dias após a semeadura).

Causa de variação	Eficiência de absorção mg Zn acumulado / g massa seca de raiz	Eficiência de transporte %	Eficiência de utilização g massa seca / mg Zn acumulado
Teste F (Dose)	489,92 **	49,27 **	374,04 **
Fontes (F)			
Sulfato	0,38	28,46 ^a	31,21
Óxido	0,36	25,09 ^b	32,07
Teste F (Fonte)	3,51 ^{ns}	7,40 [*]	0,38 ^{ns}
D x F	2,40 ^{ns}	7,19 **	0,22 ^{ns}
CV(%)	8,4	12,7	12,2

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

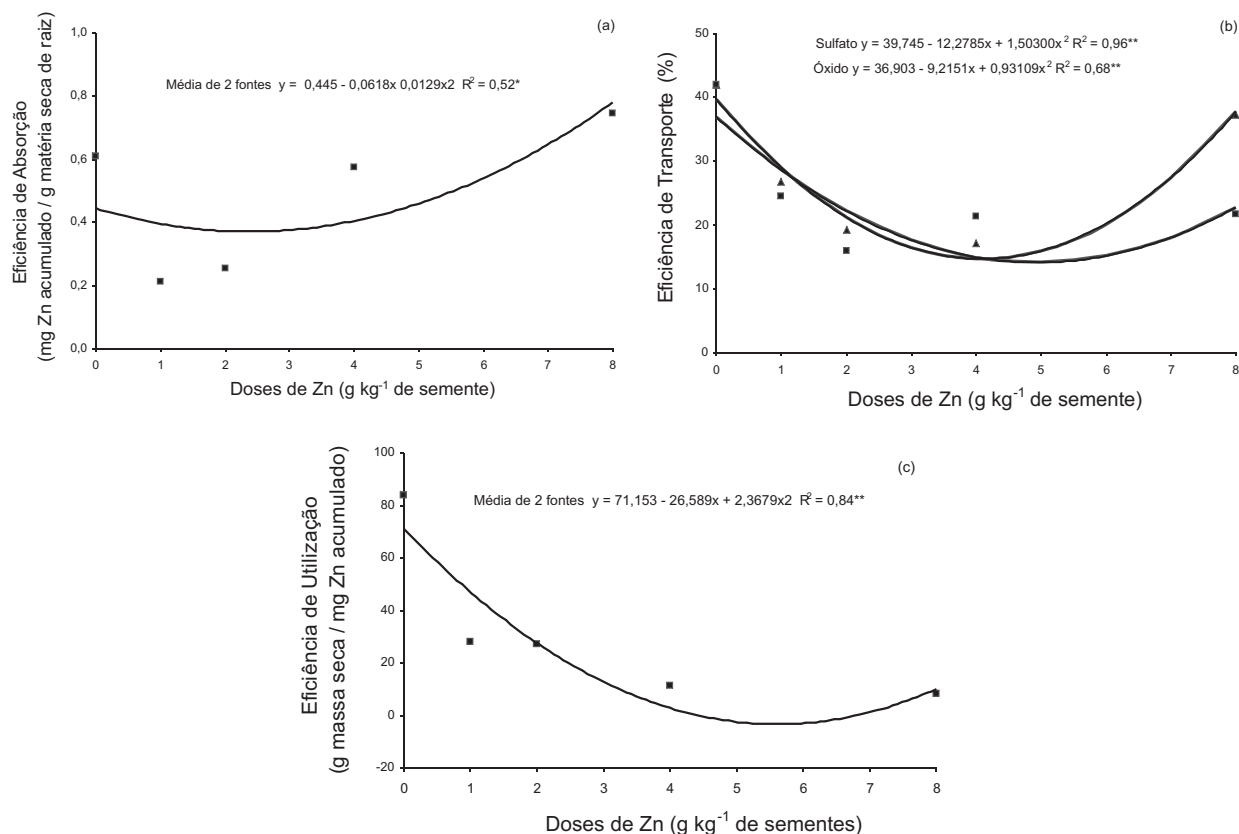


Figura 3 - Efeito da aplicação de zinco em sementes de arroz cultivar Caiapó na eficiência de absorção (média de duas fontes) (a), transporte da fonte sulfato e óxido (b) e utilização (média de duas fontes) (c) em plantas em estágio inicial de crescimento. ** e * - Significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

similar, Malavolta et al. (2002) também comprovaram a superioridade da eficiência de utilização da cultivar IAC202 em relação a IAC165 no processo de conversão do zinco absorvido em grãos.

CONCLUSÕES

1. O sulfato de zinco promoveu maior produção de massa seca total nas plântulas de arroz em relação ao óxido.

2. Com a aplicação de 3,92 g de Zn por kg de semente na forma de sulfato, houve maior incremento na massa seca, superando a testemunha em 48%.

3. O nível crítico de zinco da parte aérea foi de 194 mg kg⁻¹ em plântulas de arroz cultivar Caiapó.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, M. P.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; BERTONI, J. C.; ANDRADE, W. E. D. Limitações nutricionais para a cultura do arroz em solos orgânicos sob inundação. I Crescimento. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 87-95, 2000.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; FONSECA, J. R. Tratamento de sementes de arroz com micronutrientes sobre o rendimento e qualidade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 219-222, 1983.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; CARVALHO, J. R. P. Fontes de zinco e modos de aplicação sobre a produção de arroz em solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 713-719, 1982.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 48p. (Boletim Técnico, 78), 1983.
- BINGHAM, F. T.; PAGE, A. L.; MAHLER, R. J.; GANJE, T. J. Growth and cadmium accumulation of plants grown on a soil treated with a cadmium-enriched sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, v. 4, p. 207-211, 1975.
- BONNECARRÈRE, R. A. G.; LONDERO, F. A. A.; SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; PILAU, F. G.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D. Resposta de genótipos de arroz irrigado à aplicação de zinco. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia de Uruguaiana**, v. 10, p. 214 - 222, 2004.
- CAMARGO, M. S. de; ANJOS, A. R. M. dos; ROSSI, C.; MALAVOLTA, E. Adubação fosfatada e metais pesados em Latossolo cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3 p. 513-518, 2000.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas**. Trad. Maria Edna Tenório Nunes – Londrina: Editora Planta, 86p. 2006.
- FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000a.
- FAGERIA, N. K.; Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2303-2307, 2000b.
- FAGERIA, N. K.; SANT'ANA, E. P.; MORAIS, O. P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 1155-1161, 1995.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 221p. 1993.
- GALRÃO, E. Z.; SUHET, A. R.; SOUSA, D. M. G. Efeito de micronutrientes no rendimento e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 129-132, 1978.
- GAO, X.; ZOU, C.; ZHANG, F.; ZEE, S. E. A. T. M. van der; HOFFLAND, E. Tolerance to zinc deficiency in rice correlates with zinc uptake and translocation. **Plant and Soil**, v. 278, n. 1-2, p. 253-261, 2005.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). Zinc deficiency in rice: a review of research at the International Rice Research Institute. **Los Baños**, Philippines, 18 p. (IRPS n. 9), 1977.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). Zinc nutrition of rice. In: ANNUAL REPORT 1969, **Los Baños**, Philippines, p. 155-161, 1969.
- LEÃO, R. M. A. **Efeitos do fósforo e do zinco no comportamento do arroz de sequeiro em Latossolo**

- Vermelho Escuro sob vegetação de cerrado.** 1990. 124f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1990.
- LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; CABRAL, C. P.; OLIVEIRA, S. C.; SZAKACS, G.; ANDRADE NETTO, J. F.; ALMEIDA, R. S.; SOUZA, W. J. O.; MALAVOLTA, M. Resposta de dois cultivares de arroz ao zinco em solução nutritiva. **Revista de Agricultura**, v. 77, n. 2, p. 195-208, 2002.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado Nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2º ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, POTAFÓS, 319p., 1997.
- MORAES, M. F.; SANTOS, M. G.; BERMÚDEZ-ZAMBRANO, O. D.; MALAVOLTA, M.; RAPOSO, R. W. C.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta do arroz em casa de vegetação a fontes de micronutrientes de diferentes granulometria e solubilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 611-614, 2004.
- OBATA H. Micro essential elements. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.). Volume Two (Physiology) of **Science of Rice Plant Food and Agriculture Policy Research Center**, Tokyo, Japan p: 402-419, 1995.
- OHSE, S.; SANTOS, O. S.; MENEZES, N. L.; SCHMIDT, D. Efeito de fontes e doses de zinco sobre a germinação e o vigor de sementes de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 2, p. 369-373, 1997.
- OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, M. N. B.; MARQUES, V. S.; MAZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecido com cádmio e zinco na cultura do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 109-116, 2005.
- OLIVEIRA, S. C.; COSTA, M. C. G.; CHAGAS, R. C. S.; FENILLI, T. A. B.; HEINRICHS, R.; CABRAL, C.P.; MALAVOLTA, E. Resposta de duas cultivares de arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 387-396, 2003.
- PAULA, M. B. de; CARVALHO, J. G. de; SOARES, A. A.; NOGUEIRA, F. D. Avaliação da fertilidade de um solo de várzea (glei húmico) para a cultura do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 571-577, 1990.
- RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria. v. 26, n. 1, p. 159-165. 1996.
- SAKAL, R. Note on varietal response of rice to soil-applied zinc. **Indian Journal Agricultural Science**, Índia, v. 47, n. 9, p. 480-482, 1977.
- SCHÖFFEL, E. R.; COL LÚCIO, A. D. C. Comportamento de variedades de arroz sob diferentes doses de zinco aplicadas no solo. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia de Uruguaiana**, v. 7/8, n. 1, p. 27-31, 2001.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SLATON, N. A.; WILSON, JR., C. E.; NTAMATUNGIRO, S.; NORMAN, R. J.; BOOTHE, D. L. Evaluation of zinc seed treatments for rice. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 152 - 157, 2001.
- STEFFENS, J. C. The heavy metal-binding peptides of plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **Plant Molecular Biology**, v. 41, p. 553-75, 1990.
- SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.
- VALE, F. **Avaliação e caracterização da disponibilidade do boro e zinco contidos em fertilizantes.** 2001. 91f. Dissertação (Doutorado Fertilidade de solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 2001.
- VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1998, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba, POTAFÓS/CNPq, p. 391-412, 1991.
- WANG, J.; EVANGELOU, V. P. **Metal tolerance aspects of plant cell wall and vacuole - handbook of plant and crop physiology.** Tucson, The University of Arizona, 1994. 325p.

Recebido:23/10/2006

Aceito:14/03/2007