

ACÚMULO DE NUTRIENTES PELO ARROZ EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE DOSES E FONTES DE ZINCO NAS SEMENTES¹

Danilo Eduardo Rozane², Renato de Mello Prado², William Natale², Liliane Maria Romualdo³

ABSTRACT

NUTRIENT ACCUMULATION IN RICE PLANTS AS A FUNCTION OF SOURCES AND LEVELS OF ZINC APPLIED TO SEEDS

Although zinc is widely used in agriculture, special attention is required when studying its interactions with other nutrients. The objective of this research was to evaluate the effects of zinc doses and sources applied to rice (cv. Caiapó) seeds on the nutrient contents and accumulation in the initial growth phase. The experiment was conducted in a greenhouse, at Unesp/ Jaboticabal Campus - São Paulo, Brazil (21°15'22"S, 48°18'58"W, altitude 575 m), from February to March 2005. The experimental design was the entirely randomized one, with three replications. The treatments were five doses of Zn: 0 g kg⁻¹, 1 g kg⁻¹, 2 g kg⁻¹, 4 g kg⁻¹, and 8 g kg⁻¹ of seeds; and two sources of zinc - sulphate and oxide. The increase of zinc sulphate doses promoted a higher accumulation of S, Cu, Fe, and Mn in the shoots, and of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, and Mn in rice roots. However, it promoted a smaller accumulation of N, K, and B in the shoots. The increase of zinc oxide doses promoted a higher accumulation of K, Mg, S, Cu, and Mn in the shoots, and of N, Ca, B, Cu, and Mn in the roots. However, it promoted a smaller accumulation of N, Ca, B, and Fe in the shoots, and of P in the roots.

KEY-WORDS: Fertilization; plant nutrition; *Oryza sativa* L.; Zn; micronutrients.

INTRODUÇÃO

O setor agrícola brasileiro passa por uma fase em que a produtividade, eficiência, lucratividade e sustentabilidade do sistema são aspectos que requerem maior atenção. Neste contexto, os micronutrientes, cuja importância é conhecida há várias décadas, recebem a devida atenção, com destaque para o zinco, cuja importância é indiscutível, em razão das frequentes situações de deficiência (Abreu et al. 2001).

RESUMO

O zinco, apesar de largamente utilizado na agricultura, requer atenção especial, quando se estuda sua interação com os demais nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de doses e fontes de zinco aplicadas em sementes de arroz (cv. Caiapó), sobre o teor e acúmulo de nutrientes na fase inicial de crescimento. O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, em Jaboticabal, Estado de São Paulo, Brasil (21°15'22"S, 48°18'58"W e altitude de 575 m), no período de fevereiro a março de 2005. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram cinco doses de Zn: 0 g kg⁻¹, 1 g kg⁻¹, 2 g kg⁻¹, 4 g kg⁻¹ e 8 g kg⁻¹ de semente; e duas fontes de zinco - sulfato de zinco e óxido de zinco. O aumento das doses de zinco como sulfato promoveu maior acúmulo de S, Cu, Fe e Mn, na parte aérea, e de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn, no sistema radicular do arroz, porém, menor acúmulo de N, K e B na parte aérea. O aumento das doses de zinco como óxido promoveu maior acúmulo de K, Mg, S, Cu e Mn, na parte aérea, e de N, Ca, B, Cu e Mn, no sistema radicular, porém, menor acúmulo de N, Ca, B e Fe na parte aérea e de P nas raízes.

PALAVRAS-CHAVE: Adubação; nutrição de plantas; *Oryza sativa* L.; Zn; micronutrientes.

O zinco atua como componente e ativador enzimático, estando diretamente envolvido no metabolismo do nitrogênio (Faquin 1997), contribuindo para o crescimento (Grewal et al. 1997) e a manutenção da integridade da membrana plasmática das raízes (Malavolta 2006).

O baixo nível de zinco disponível nos solos brasileiros constitui um problema para o cultivo do arroz de sequeiro, em várias regiões do País.

No Brasil, a deficiência de zinco em arroz de sequeiro foi constatada, pela primeira vez, por Souza

1. Trabalho recebido em maio/2008 e aceito para publicação em maio/2009 (n° registro: PAT 3855).
2. Universidade Estadual Paulista, Campus Jaboticabal, Departamento de Solos e Adubos, Jaboticabal, SP, Brasil.
E-mails: danilorozane@yahoo.com.br, rmp Prado@fcav.unesp.br, natale@fcav.unesp.br.
3. Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Departamento de Zootecnia/Ciências Agrárias, Pirassununga, SP, Brasil. E-mail: lilianeromualdo@yahoo.com.br.

& Hiroce (1970), em solos do Estado de São Paulo. Os referidos autores verificaram que a aplicação de 5 kg de Zn ha⁻¹, na forma de sulfato de zinco, foi suficiente para corrigir a carência. Respostas positivas do desenvolvimento das plantas à aplicação de zinco, em solos sob vegetação de Cerrado, foram verificadas por Fageria & Zimmermann (1979) e Barbosa Filho et al. (1992) e, em sementes, por Prado et al. (2008) e Rozane et al. (2008).

A interação de nutrientes é, provavelmente, um dos fatores mais importantes que afetam a produtividade das culturas anuais, podendo ser positiva, negativa ou neutra (Fageria et al. 1997). Esta interação pode ser medida pelo crescimento das plantas e pelo teor dos nutrientes no tecido vegetal, ocorrendo na superfície das raízes ou no interior da planta (Fageria 2000, Fageria et al. 2002).

As interações podem variar de nutriente para nutriente entre as espécies e, até mesmo, entre cultivares da mesma espécie. Por esta razão, o assunto é muito complexo e, até os dias atuais, não bem elucidado nas culturas anuais (Fageria 2002).

Problemas nutricionais com zinco têm sido constatados em decorrência de crescentes adubações fosfatadas, fazendo com que a interação P x Zn seja objeto de vários estudos (Fageria & Zimmermann 1979, Fageria 2002). Altas doses de P parecem diminuir os teores de zinco na parte aérea. Além disso, aplicações de zinco afetam os teores de fósforo nos tecidos foliares (Marques 1990).

Desbalanços nutricionais, decorrentes da interação do Zn com outros nutrientes, têm sido relatados na literatura, a exemplo: Zn x N (Marschner 1995); Zn x Ca (Barbosa Filho et al. 1992, Furlani et al. 2005); Zn x Mg (Monnet et al. 2001); Zn x B (Nable et al. 1997); Zn x Cu (Luo & Rimmer 1995); Zn x Fe (Paula et al. 1999); e Zn x Mn (Monnet et al. 2001).

Em função do exposto, e como parte de um estudo mais amplo sobre a adubação com micronutrientes em arroz, objetivou-se avaliar os efeitos de doses e fontes de zinco aplicadas em sementes de arroz (cv. Caiapó), sobre o teor e acúmulo de nutrientes na fase inicial de crescimento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, na Unesp/FCAV, Campus Jaboticabal-SP (21°15'22''S, 48°18'58''W e altitude de 575 m), no período de fevereiro a março de 2005.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 5 x 2, com três repetições. Os tratamentos foram cinco doses de Zn: 0 g kg⁻¹, 1 g kg⁻¹, 2 g kg⁻¹, 4 g kg⁻¹ e 8 g kg⁻¹ de semente; e duas fontes de zinco - sulfato de zinco (22% de Zn) e óxido de zinco (50% de Zn).

A unidade experimental foi uma bandeja de polietileno translúcido, preenchida com 5 L de areia grossa lavada, onde foram semeadas 50 sementes de arroz (cv. Caiapó).

Para a aplicação do zinco nas sementes, utilizou-se a técnica de umedecimento estabelecida por Volkweiss (1991), a partir da dissolução das respectivas fontes, em um recipiente com quantidade mínima de água, adicionando-se as sementes. Em seguida, efetuou-se a semeadura do arroz, nas bandejas com areia lavada. Considerou-se que a dose de Zn foi integralmente aplicada às unidades experimentais (bandejas). Salienta-se que, durante o período experimental, todos os tratamentos foram fertirrigados com solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950), omitindo-se o zinco. Na irrigação das bandejas, utilizou-se água desionizada e a umidade do solo foi mantida em torno de 70% do volume total de poros, por meio de pesagens diárias das bandejas.

Aos 30 dias após a semeadura, efetuou-se o corte das plantas, separando-as em parte aérea e raízes. O material vegetal foi lavado em água destilada, seco em estufa com circulação de ar à temperatura de 65°C a 70°C, até peso constante. A matéria seca das plantas foi pesada e moída para as determinações químicas dos teores de macro e micronutrientes no tecido vegetal, seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

A partir da massa seca e do teor dos nutrientes, nas diferentes partes (aérea e raízes) das plantas de arroz, calculou-se o acúmulo de nutrientes.

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção do P, os demais nutrientes apresentaram efeito significativo nos tratamentos sobre o teor na parte aérea das plantas de arroz cultivar Caiapó (Tabela 1). A maior dose de Zn (8 g kg⁻¹ semente) proporcionou o maior teor de K, S e Cu. O maior teor de K obtido na maior dose de Zn testada

se deve, provavelmente, à alteração da relação Ca:K, onde o teor de K elevou-se, em detrimento do Ca. Comportamento oposto a este foi verificado para os teores N, Ca, Mg e B, os quais apresentaram-se mais elevados no tratamento testemunha, sem Zn. Informações de Andreotti et al. (2001) corroboram estes resultados. Os autores verificaram que a aplicação de zinco diminuiu o teor de Ca em folhas de milho. Os maiores teores de Mg foram obtidos no tratamento testemunha, o que pode ter ocorrido em função de as doses mais elevadas de Zn terem proporcionado desequilíbrio na relação Ca:Mg, isto porque, segundo Bolan et al. (1993), altas relações Ca:Mg podem reduzir a disponibilidade de Mg. Silva et al. (2005) obtiveram maiores teores de Mg na matéria seca da parte aérea de umbuzeiros cultivados sem a aplicação de zinco.

O teor de fósforo da parte aérea não foi alterado, de forma significativa, pelas doses de Zn aplicadas (Tabela 1). Essa observação é semelhante à de Malavolta et al. (2002), conduzindo experimento com duas cultivares de arroz e quatro doses de zinco, em que não foi verificada correlação Zn x P. Reis Júnior & Martinez (2002) também não identificaram interação Zn x P, em cultivares de café em solução nutritiva. Cakmak & Marschner (1987) observaram que altas concentrações de P podem induzir ou aumentar a deficiência de Zn, particularmente em condições de baixa disponibilidade de zinco. A explicação seria que o excesso de P aumentaria o requerimento fisiológico de Zn (Malavolta 2006), inibiria a absorção

de Zn (Loneragan & Webb 1993) e reduziria as taxas de crescimento radicular e de transporte do Zn das raízes para a parte aérea. Entretanto, esta relação, no metabolismo vegetal, pode ter comportamento diferente. Moreira et al. (2001), em cultivo hidropônico com a cultura da alface, obtiveram valores maiores na produção da matéria seca da parte aérea, com níveis normal (1,5 mM L⁻¹) e alto (6,0 mM L⁻¹) da relação P x Zn, na solução nutritiva.

O Fe e o Mn apresentaram maiores teores nas plantas submetidas às doses intermediárias de Zn de 2 g kg⁻¹ e 4 g kg⁻¹ semente, respectivamente. Com relação ao Mn, isto pode ter ocorrido em função das doses mais elevadas de Zn inibirem a absorção do Mn, como também constatou Salvador et al. (1999), em mudas de goiabeira cultivadas em solução nutritiva. No caso do Fe, pode ter ocorrido inibição competitiva. Loué (1993) observou que, em virtude do Zn e do Fe serem cátions bivalentes, existe uma competição dos nutrientes pelo mesmo sítio do carregador, durante o processo da absorção, de maneira que a carência de um aumenta a disponibilidade do outro.

Para a variável fonte, observou-se que os teores de N, P, Mg e Mn não apresentaram diferença significativa. Entretanto, o emprego da fonte sulfato proporcionou maior teor de Ca, S, B e Fe. Em contrapartida, para o K e o Cu, a fonte que proporcionou os maiores teores destes nutrientes, na parte aérea, foi o óxido (Tabela 1). Observa-se que houve diferença significativa da interação dose x fonte, para os teores de K, B, Cu, Fe e Mn (Tabela 1).

Tabela 1. Médias e valor de F dos resultados da análise de variância referentes aos teores de nutrientes na parte aérea, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de arroz cv. Caiapó (Jaboticabal, 2005).

Doses	N	P	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹				
			K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
0	10,9a	2,7	13,7b	3,4a	2,7a	1,6c	52a	7b	105c	54d
1	11,0a	2,7	14,3b	2,8b	2,2bc	2,0ab	21b	8ab	127b	83c
2	10,4ab	2,6	14,6b	2,7b	2,3bc	1,8bc	14c	7b	144a	103b
4	10,2ab	2,6	14,2b	3,0ab	2,3b	2,2a	18b	9a	107c	112a
8	9,6b	2,8	17,7a	2,7b	2,1c	2,1a	18b	9a	126b	103b
Teste F	6,6**	2,1ns	16,7**	4,5**	24,3**	11,8**	289,1**	6,3**	27,6**	234,3**
Fontes (F)										
Sulfato	10,4	2,7	14,1	3,2	2,28	2,0	25	7	138	91
Óxido	10,4	2,7	15,8	2,7	2,29	1,9	24	8	105	90
Teste F	0,0ns	0,1ns	22,7**	15,5**	0,1ns	5,1*	4,9*	14,5**	139,2**	0,95ns
Interação D x F	0,7ns	0,2ns	4,8**	2,4ns	1,0ns	2,8ns	10,8**	12,3**	72,3**	114,9**
C.V. (%)	5,3	5,8	6,4	12,7	4,9	8,8	9,2	10,3	6,1	4,1

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

De acordo com a Tabela 2, verifica-se que apenas o acúmulo de Ca, na parte aérea das plantas, não foi afetado significativamente pelas diferentes doses de Zn aplicadas. Apesar de não significativa, a ausência da aplicação de Zn promoveu o maior acúmulo de B na planta inteira. Entretanto, para os demais nutrientes, as duas maiores doses de Zn empregadas contribuíram para os maiores acúmulos de N, Mg, S, Fe, P, K, Cu e Mn. Existe uma relação positiva entre a concentração de Zn na solução e o acúmulo de N nas folhas.

Com exceção do N, Ca e Mg, que ocorreram em maiores teores na parte aérea, nas menores doses de Zn, e o maior acúmulo, nas maiores doses de Zn empregadas, todos os demais nutrientes seguiram a tendência de apresentar maior teor e maior acúmulo, com a elevação das doses de Zinco (Tabelas 1 e 2).

A aplicação de zinco incrementou o acúmulo de Mn na parte aérea do arroz (Tabela 2). Resultado semelhante foi observado por Monnet et al. (2001), em *Lolium perenne*. Os autores atribuíram o aumento da concentração de manganês à diminuição na relação Fv:Fm, no FSII, devido à tensão de zinco, conferindo, assim, resistência aos altos teores de zinco.

Observou-se aumento no acúmulo de Cu, em função da aplicação de zinco (Tabela 2). Luo & Rimmer (1995) relataram um sinergismo entre Zn e Cu, em plantas de cevada, em que pequenas doses de cobre, adicionadas ao tratamento com altas doses de zinco, promoviam um aumento da toxicidade do zinco. No presente trabalho, verificou-se o contrário para o B, ou

seja, o aumento de Zn diminuiu o acúmulo do B pela parte aérea (Tabela 2). Nable et al. (1997) relatam a interação B e Zn, sendo que a toxicidade do B pode ser resultado da deficiência de Zn.

Para o acúmulo dos nutrientes, em função das fontes de Zn empregadas, verificou-se que não houve efeito significativo para os elementos N, P, Mg, S, B e Mn. No entanto, a adição de sulfato de zinco apresentou-se como condicionante para maior acúmulo de Ca e Fe, na parte aérea do arroz, enquanto a fonte óxido aumentou o acúmulo de K e Cu (Tabela 2). Stevenson & Ardakani (1972) observaram o oposto para a interação Zn x Cu, havendo, segundo os referidos autores, uma substituição parcial do Zn pelo Cu, nos sítios de troca na planta. Entretanto, no presente trabalho, isso não ocorreu, pois, na maior dose de Zn, observaram-se maiores teores e acúmulos de Cu (Tabelas 1 e 2). A interação doses x fontes foi significativa para o K e todos os micronutrientes (Tabela 2).

Para o efeito de doses de Zn em sementes de arroz, sobre os teores de macro e micronutrientes no sistema radicular das plantas (Tabela 3), pode-se observar que a maior dose de Zn (8 g kg⁻¹ semente) foi a que proporcionou o maior teor de K, Ca, Mg, S, Cu, Fe e Mn. Já para o N e o B, as doses de Zn que proporcionaram os maiores teores foram de 1 g kg⁻¹ e 2 g kg⁻¹ semente, respectivamente. Para o P, o teor nas raízes não foi significativamente afetado pelas doses de Zn.

Não houve efeito das fontes sobre os teores de K e Mg das raízes. Entretanto, para o acúmulo de N, P, K, Mg, S, Fe e Mn, a fonte sulfato de zinco destacou-

Tabela 2. Médias e valor de F dos resultados da análise de variância referentes ao acúmulo de nutrientes na parte aérea, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de arroz cv. Caiapó (Jaboticabal, 2005).

Doses	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
0	12,8b	3,2c	16,2c	4,04	3,2ab	1,9d	62a	8b	124c	63d
1	14,9ab	3,7b	19,4b	3,75	3,0b	2,7bc	28b	11ab	174ab	113c
2	14,3ab	3,6b	20,2b	3,71	3,1ab	2,5c	19c	10b	196a	141b
4	15,1a	3,8ab	21,1b	4,47	3,4a	3,2a	27b	13a	159b	166a
8	14,3ab	4,2a	26,6a	3,99	3,1ab	3,1ab	27b	13a	190ab	154ab
Teste F	3,2*	12,4**	27,4**	2,0ns	2,6*	19,1**	130,6**	11,8**	14,6**	78,5**
Fontes (F)										
Sulfato	14,0	3,6	19,7	4,3	3,0	2,7	33	10	187	126
Óxido	14,6	3,8	22,4	3,7	3,2	2,6	32	12	149	129
Teste F	1,7ns	2,5ns	26,4**	10,2**	3,0ns	0,7ns	1,7ns	14,7**	31,1**	0,5ns
Interação D x F	0,6ns	0,9ns	4,8**	2,3ns	0,5ns	1,8ns	7,4**	8,9**	23,7**	21,0**
C.V. (%)	8,7	6,5	8,5	13,0	6,9	11,5	11,1	13,8	11,0	8,9

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

se, se comparada ao óxido, enquanto o acúmulo de Ca, B e Cu, nas raízes, foram maiores com o uso da fonte óxido (Tabelas 3 e 4).

Houve efeito significativo das doses de Zn sobre o acúmulo de todos os nutrientes avaliados nas raízes das plantas de arroz, sendo a dose de 2g kg⁻¹ semente a que proporcionou o maior acúmulo de todos os nutrientes, especialmente com emprego da fonte sulfato. Entretanto, para o Ca, B e Cu, a melhor fonte seria o óxido de zinco (Tabela 4).

Para a interação dose e fonte, não houve efeito significativo apenas para o teor de Mg e S nas raízes

(Tabela 3) e também o acúmulo destes nutrientes nas raízes (Tabela 4).

Salienta-se que, para os parâmetros em que houve efeito significativo dos tratamentos (doses de Zn), realizou-se análise de regressão (Tabelas 5, 6, 7 e 8). Entretanto, em alguns modelos, não foram significativos para equações do primeiro e segundo grau, sendo significativos em equações de terceiro grau. Assim, como as equações citadas não permitem a explicação adequada de fenômenos biológicos, optou-se por não apresentar tais resultados.

Tabela 3. Médias e valor de F dos resultados da análise de variância referentes aos teores de nutrientes no sistema radicular, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de arroz cv. Caiapó (Jaboticabal, 2005).

Doses	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
0	6,5b	0,8	4,8d	0,9b	0,8ab	1,4b	33b	27d	1060e	19d
1	7,2a	0,9	5,4bc	0,9b	0,8b	1,9a	23c	27d	2380d	39c
2	6,7b	0,8	5,8b	1,4a	0,8ab	2,0a	42a	43c	3450c	40c
4	6,3b	0,8	4,9cd	1,5a	0,8ab	2,0a	22c	58b	3867b	43b
8	6,6b	0,9	8,1 ^a	1,4a	0,9a	2,1a	21c	74a	4171a	47a
Teste F	8,5**	1,6ns	85,9**	53,8**	3,6*	13,8**	271,3**	132,5**	879,5**	291,4**
Fontes (F)										
Sulfato	6,8	0,9	5,8	0,8	0,83	1,9	25	25	3209	38
Óxido	6,5	0,8	5,8	1,6	0,81	1,8	31	67	2762	37
Teste F	7,4*	20,5**	0,1ns	464,5**	1,3ns	5,9*	202,1**	715,9**	135,7**	5,5*
Interação D x F	5,4**	2,9*	27,0**	106,2**	2,0ns	0,3ns	313,6**	140,3**	760,6**	29,0**
CV (%)	4,5	7,1	6,0	8,4	5,9	8,9	4,7	9,5	3,5	4,1

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

Tabela 4. Médias e valor de F dos resultados da análise de variância referentes aos acúmulos de nutrientes no sistema radicular, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de arroz cv. Caiapó (Jaboticabal, 2005).

Doses	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn
	g kg ⁻¹			mg por planta			µg por planta			
0	13,3cd	1,7bc	9,9b	1,8c	1,7b	2,9d	67b	55b	2183d	40d
1	17,5b	2,1b	13,1b	2,1c	1,9b	4,5bc	55bc	65b	5850c	95bc
2	23,9a	3,0a	21,0a	5,0a	2,9a	7,1a	147a	149a	12548a	145a
4	15,6bc	2,0b	12,2b	3,2b	2,0b	5,0b	55bc	123a	10167b	107b
8	11,2d	1,5c	13,6b	2,3bc	1,5b	3,5cd	35c	123a	7070c	79c
Teste F	24,7**	19,8**	21,7**	29,0**	16,5**	23,1**	80,3**	19,0**	60,7**	36,9**
Fontes (F)										
Sulfato	17,5	2,3	15,5	2,1	2,1	5,0	62	62	8983	101
Óxido	15,1	1,9	12,2	3,7	1,9	4,2	82	144	6144	85
Teste F	7,1*	15,9**	7,6*	54,4**	4,5*	8,1**	20,6**	94,0**	38,4**	7,5*
Interação D x F	4,2*	3,3*	7,4**	13,8**	1,5ns	2,3ns	47,9**	14,5**	60,3**	6,4**
CV (%)	14,6	15,1	15,8	20,4	17,3	17,7	16,5	20,0	16,6	16,7

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

Observou-se que o teor de P na parte aérea, frente às doses e fontes de Zn aplicadas nas sementes de arroz, não se ajustou aos modelos lineares e quadráticos, concordando com Reis Júnior & Martinez (2002), que também não observaram interação entre

estes elementos (Tabelas 5 e 6).

À exceção do K e do Mg, na aplicação do Zn como fonte sulfato, e do K, B, Cu e Fe, quando aplicado à fonte óxido, os demais nutrientes obedeceram à mesma tendência dos teores no

Tabela 5. Efeito da aplicação de sulfato de zinco em sementes de arroz cv. Caiapó, sobre os teores de nutrientes na parte aérea e no sistema radicular das plântulas em estágio inicial de crescimento (Jaboticabal, 2005).

Nutrientes	Parte aérea			Raízes		
	Equação	R ²	F	Equação	R ²	F
N	$y = 10,963 - 0,1875x$	0,86**	12,20	$y = 7,016 - 0,7083x$	0,48*	6,57
P	-	-	0,11ns	-	-	0,39ns
K	$y = 14,255 - 0,6616x + 0,10687x^2$	0,96*	7,62	$y = 5,285 + 0,1783x$	0,36**	15,22
Ca	-	-	2,72ns	$y = 0,937 - 0,4333x$	0,90**	42,25
Mg	$y = 2,505 - 0,1519x + 0,01357x^2$	0,51**	11,51	$y = 0,792 + 0,0117x$	0,72**	24,50
S	$y = 1,767 + 0,0733x$	0,68**	20,17	$y = 1,733 + 0,0667x$	0,65**	16,16
B	$y = 42,990 - 12,8224x + 1,23201x^2$	0,73**	100,83	$y = 30,223 - 3,9993x + 0,36911x^2$	0,72**	26,86
Cu	-	-	4,00ns	-	-	3,75ns
Fe	$y = 119,200 + 26,1527x - 3,50541x^2$	0,58**	114,14	$y = 596,892 + 1865,1200x - 175,49130x^2$	0,75**	2765,56
Mn	$y = 50,585 + 26,8701x - 2,34285x^2$	0,78**	138,30**	$y = 23,010 + 9,5493x - 0,78577x^2$	0,87**	178,44

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

Tabela 6. Efeito da aplicação de óxido de zinco em sementes de arroz cv. Caiapó, sobre os teores de nutrientes na parte aérea e no sistema radicular das plântulas em estágio inicial de crescimento (Jaboticabal, 2005).

Nutrientes	Parte aérea			Raízes		
	Equação	R ²	F	Equação	R ²	F
N	$y = 10,888 - 0,1625x$	0,84*	10,42	-	--	0,11ns
P	-	-	0,37ns	-	-	0,26ns
K	$y = 13,647 + 0,7000x$	0,90**	85,44	$y = 5,165 - 0,4965x + 0,12382x^2$	0,95**	181,13
Ca	$y = 3,076 - 0,3681x + 0,04007x^2$	0,45**	16,27	$y = 0,700 + 0,5795x - 0,48925x^2$	0,81**	95,40
Mg	$y = 2,476 - 0,0608x$	0,65**	34,60	-	-	0,72ns
S	$y = 1,509 + 0,2751x - 0,02870x^2$	0,91**	40,38	$y = 1,462 + 0,2341x - 0,02221x^2$	0,84**	11,47
B	$y = 43,700 - 15,8134x + 1,61022x^2$	0,62**	1146,84	$y = 37,279 - 1,9708x$	0,12**	417,40
Cu	$y = 0,682 + 0,5500x$	0,95**	60,50	$y = 20,605 + 21,3580x - 1,05955x^2$	0,97**	16,63
Fe	$y = 115,762 - 19,0972x + 2,78805x^2$	0,83**	132,58	$y = 2014,250 + 249,2500x$	0,38**	435,73
Mn	$y = 64,700 + 21,8038x - 2,35753x^2$	0,62**	644,05	$y = 25,703 + 7,8951x - 0,72870x^2$	0,59**	232,04

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

Tabela 7. Efeito da aplicação de sulfato de zinco em sementes de arroz cv. Caiapó, sobre o acúmulo de nutrientes na parte aérea e no sistema radicular das plântulas em estágio inicial de crescimento (Jaboticabal, 2005).

Nutrientes	Parte aérea			Raízes		
	Equação	R ²	F	Equação	R ²	F
N	$y = 10,963 - 0,1875x$	0,86**	12,20	$y = 14,877 + 4,1206x - 0,57554x^2$	0,81**	38,37
P	-	-	0,11ns	$y = 1,849 + 0,6056x - 0,08019x^2$	0,81**	47,00
K	$y = 14,255 - 0,6616x + 0,10687x^2$	0,96*	7,62	$y = 11,236 + 4,3677x - 0,54628x^2$	0,44**	32,01
Ca	-	-	2,72ns	$y = 1,978 + 0,43769x - 0,07045x^2$	0,81**	49,36
Mg	-	-	0,51ns	$y = 1,670 + 0,5660x - 0,07328x^2$	0,69**	40,08
S	$y = 2,246 + 0,1558x$	0,73**	45,71	$y = 3,291 + 1,8415x - 0,22415x^2$	0,79**	66,56
B	$y = 51,540 - 13,5314x + 1,31504x^2$	0,71**	92,76	$y = 62,176 + 7,3448x - 1,31025x^2$	0,82**	14,85
Cu	$y = 8,788 + 1,1910x - 0,14155x^2$	0,37*	6,88	$y = 53,296 + 14,0331x - 1,93898x^2$	0,85**	45,08
Fe	$y = 144,298 + 46,9338x - 5,75398x^2$	0,67**	61,25	$y = 857,089 + 7360,9300x - 820,98560x^2$	0,67**	222,07
Mn	$y = 59,130 + 42,98568x - 3,66884x^2$	0,88**	58,25	$y = 46,463 + 51,118x - 5,82489x^2$	0,77**	100,09

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

Tabela 8. Efeito da aplicação de óxido de zinco em sementes de arroz cv. Caiapó, sobre o acúmulo de nutrientes na parte aérea e no sistema radicular das plântulas em estágio inicial de crescimento (Jaboticabal, 2005).

Nutrientes	Parte aérea			Raízes		
	Equação	R ²	F	Equação	R ²	F
N	y= 10,886 - 0,1625x	0,84*	10,42	y= 15,507 + 1,19774x - 0,23362x ²	0,27*	6,90
P	-	-	0,37ns	y= 2,098 - 0,08419x	0,22*	8,43
K	y= 13,647 + 0,7000x	0,90**	85,44	-	-	0,14ns
Ca	y= 3,076 - 0,3681x + 0,04007x ²	0,45**	16,27	y= 1,896 + 1,5607x - 0,17062x ²	0,39**	34,39
Mg	y= 3,048 + 0,1567x - 0,01856x ²	0,67*	7,67	-	-	4,71ns
S	y= 1,818 + 0,5939x - 0,05758x ²	0,96**	100,47	y= 3,595 + 0,84265x - 0,11559x ²	0,33**	12,85
B	y= 52,053 - 16,8684x + 1,77242x ²	0,56**	405,80	y= 79,980 + 18,86026x - 3,23231x ²	0,20**	32,37
Cu	y= 8,712 + 1,1249x	0,95**	100,85	y= 56,290 + 56,6151x - 4,84916x ²	0,70**	12,86
Fe	y= 143,719 - 16,14817x + 3,18843x ²	0,80**	35,11	-	-	4,87ns
Mn	y= 78,982 + 39,3560x - 4,01794x ²	0,74**	176,72	y= 65,478 + 22,3691x - 2,78361x ²	0,34**	18,11

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

sistema radicular e na parte aérea das plantas de arroz (Tabelas 5 e 6).

O acúmulo de nutrientes, em função das doses e fontes de Zn aplicadas às plantas de arroz, na sua maioria, teve ajuste quadrático. Observou-se, também, que somente o N e o S, quando o Zn foi fornecido pela fonte sulfato, e o Cu, quando se forneceu à fonte óxido, apresentaram ajustes diferentes, em relação ao acúmulo na parte aérea e raízes. Entretanto, todos apresentaram ajuste linear para a parte aérea.

Pelos resultados obtidos, observa-se que, apesar da época de amostragem para diagnose foliar em arroz não ser a preconizada por Cantarella et al. (1997), a mesma se mostrou sensível, o que possibilitaria a intervenção de possíveis deficiências.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de fontes e doses de zinco via sementes afeta, de modo diferente, a composição química da planta, no acúmulo de nutrientes.
2. A aplicação de 3,92 g de Zn por kg de semente, na forma de sulfato, promoveu maior incremento na massa da matéria seca das plântulas de arroz.
3. O aumento das doses de sulfato de zinco promoveu maior acúmulo de S, Cu, Fe e Mn, na parte aérea, e de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn, no sistema radicular do arroz. Entretanto, diminuiu o acúmulo de N, K e B na parte aérea.
4. O aumento das doses de óxido de zinco promoveu maior acúmulo de K, Mg, S, Cu e Mn, na parte aérea, e de N, Ca, B, Cu e Mn, no sistema radicular do arroz. Entretanto, diminuiu o acúmulo de N, Ca, B e Fe, na parte aérea, e P, nas raízes.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BORKERT, C. M. Disponibilidade à avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M. E. et al. (Eds.). *Micronutrientes tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/Fapesp/Potafos, 2001. p. 125-150.
- ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A.; CRUSCIO, C. A. C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 321-327, 2001.
- BARBOSA FILHO, M. P. et al. Interação entre calagem e zinco na absorção de nutrientes e produção de arroz de sequeiro em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 16, n. 3, p. 355-360, 1992.
- BATAGLIA, O. C. et al. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. (Boletim técnico, 78).
- BOLAN, N. S.; SYERS, J. K.; SUMNER, M. E. Calcium-induced sulfate adsorption by soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 57, n. 2, p. 691-696, 1993.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 70, n. 1, p. 13-20, 1987.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van et al. (Eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 45-47. (Boletim técnico, 100).
- FAGERIA, N. K. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 37, n. 12, p. 1765-1772, 2002.
- FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 35, n. 11, p. 2303-2307, 2000.

- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, New York, v. 77, n. 1, p. 189-272, 2002.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. *Growth and mineral nutrition of field crops*. 2. ed. New York: M. Dekker, 1997.
- FAGERIA, N. K.; ZIMERMANN, F. J. P. Interação entre fósforo, zinco e cálcio em arroz de sequeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 3, n. 2, p. 88-92, 1979.
- FURLANI, A. M. C. et al. Eficiência de cultivares de milho na absorção e utilização de zinco. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 264-273, 2005.
- GREWAL, H. S.; ZHONGGU, L.; GRANHAN, R. D. Influence of subsoil zinc on dry matter production, seed yield and distribution of zinc in oilseed rape genotypes differing in zinc efficiency. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 192, n. 2, p. 181-189, 1997.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950.
- LONERAGAN, J. F.; WEBB, M. J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A. D. (Ed.). *Zinc in soil and plants*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 119-134.
- LOUÉ, A. *Oligoeléments en agriculture*. Antibes: SCPA/NATHAN, 1993.
- LUO, Y. M.; RIMMER, D. L. Zinc copper interaction affecting plant-growth on a metal-contaminated soil. *Environmental Pollution*, London, v. 88, n. 1, p. 79-83, 1995.
- MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Ceres, 2006.
- MALAVOLTA, E. et al. Resposta de dois cultivares de arroz ao zinco em solução nutritiva. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v. 77, n. 2, p. 195-208, 2002.
- MARQUES, R. *Efeitos do fósforo e do zinco na nutrição e crescimento de porta-enxerto de seringueira (Hevea brasiliensis Muell Arg.)*. 1990. 110 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)–Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1995.
- MONNET, F. et al. Relationship between PSII activity, CO₂ fixation and Zn, Mn and Mg contents of *Lolium perenne* under zinc stress. *Journal of Plant Physiology*, Rockville, v. 158, n. 9, p. 1137-1144, 2001.
- MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CAMARGOS, M. I. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 36, n. 6, p. 903-909, 2001.
- NABLE, R. O.; BAÑUELOS, G. S.; PAULL, J. G. Boron toxicity. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 193, n. 1/2, p. 181-198, 1997.
- PAULA, M. B. et al. Curva de resposta e avaliação de extratores para zinco disponível em solos hidromórficos e aluviais sob arroz inundado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 49-55, 1999.
- PRADO, R. M. et al. Resposta de plântulas de arroz à aplicação de zinco via semente. *Magistra*, Cruz das Almas, v. 20, n. 1, p. 87-94, 2008.
- REIS JÚNIOR, R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.
- ROZANE, D. E. et al. Resposta de plântulas de arroz c.v. Soberana à aplicação de zinco via semente. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 3, p. 847-854, 2008.
- SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Sintomas visuais de deficiências de micronutrientes e composição mineral de folhas em mudas de goiabeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 34, n. 9, p. 1655-1662, 1999.
- SILVA, E. B.; GONÇALVES, N. P.; PINHO, P. J. Limitações nutricionais para crescimento de mudas de umbuzeiro em latossolo vermelho distrófico no norte de Minas. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 27, n. 1, p. 55-59, 2005.
- SOUZA, D. M.; HIROCE, R. Diagnose e tratamento preventivo, no solo, de deficiência de zinco em cultura de arroz de sequeiro em solos com pH abaixo de 7. *Bragantia*, Campinas, v. 29, n. 9, p. 91-103, 1970.
- STEVENSON, F. J.; ARDAKANI, M. S. Organic matter reactions involving micronutrients in soil. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Eds.). *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 79-144.
- VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1998, Jaboticabal. *Anais...* Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. p. 391-412.