

## Doses e fontes de alumínio no acúmulo de micronutrientes em plantas de arroz de terras altas <sup>(1)</sup>.

**Dirceu Maximino Fernandes<sup>(2)</sup>; Lucas Barbosa de Freitas<sup>(3)</sup>; Suelen Cristina Mendonça Maia<sup>(3)</sup>; Beatriz Gallucci Mazziero<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

<sup>(2)</sup> Professor Assistente Doutor – Bolsista CNPq; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, SP, dmfernandes@fca.unesp.br; <sup>(3)</sup> Doutorandos; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, lucasbf@fca.unesp.br e suelen.maia@fca.unesp.br; <sup>(4)</sup> Graduanda; Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA/UNESP, bgmazziero@fca.unesp.br.

**RESUMO:** Ainda não é bem estabelecida a fonte de alumínio a ser utilizada em experimentos de solução nutritiva para gerar toxidez as plantas, inicialmente era utilizado  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , porém, em trabalhos recentes utilizam-se  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Nesse sentido, é importante selecionar a fonte mais eficiente em gerar toxidez por  $\text{Al}^{3+}$ . O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses e fontes de  $\text{Al}^{3+}$  no acúmulo de micronutrientes na parte aérea e raiz de plantas de arroz de terras altas, visando definir melhor fonte de  $\text{Al}^{3+}$  em gerar toxidez em plantas de arroz, para utilização em estudos com  $\text{Al}^{3+}$  em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em solução nutritiva, utilizando delineamento experimental de blocos casualizados, disposto em modelo fatorial 2x5 com quatro repetições. Os tratamentos foram duas fontes de  $\text{Al}^{3+}$  ( $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) e cinco doses de  $\text{Al}^{3+}$  (0, 10, 20, 30 e 40  $\text{mg dm}^{-3}$ ). Com aplicação de  $\text{Al}^{3+}$  há menor absorção de micronutrientes. Devido ao menor acúmulo de micronutrientes na parte aérea e raiz, pode-se definir o cloreto de alumínio como mais eficiente em gerar toxidez por  $\text{Al}^{3+}$  as plantas de arroz em comparação ao sulfato de alumínio.

**Termos de indexação:** cloreto de alumínio, sulfato de alumínio, solução nutritiva

### INTRODUÇÃO

A toxicidade ao alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) é um dos principais limitantes da produtividade das culturas em solos ácidos, os quais representam grande área com capacidade produtiva em regiões tropicais e subtropicais. Solos ácidos estão presentes em cerca de 40% da superfície terrestre (Kochian, 1995), e 70% dos solos potencialmente cultiváveis do mundo (Piñeros et al., 2002). No Brasil, a ocorrência de solos com problemas de toxidez de  $\text{Al}^{3+}$  é da ordem de 60%, considerando-se as terras com potencial para atividades agrícolas. Em geral o valor de pH da maioria dos solos brasileiros varia entre 3,7 e 5,5, e o  $\text{Al}^{3+}$  é o cátion predominante em mais de um terço

dos solos com pH inferior a 5,6 (Abreu Jr. et al., 2003).

O principal sintoma de toxidez causado por  $\text{Al}^{3+}$  nas plantas é a inibição do crescimento e desenvolvimento das raízes (Kochian, 1995). As raízes se tornam atrofiadas em função da morte ou injúria do meristema radicular e aumenta a rigidez da parede celular e sua espessura (Meharg, 1993). Especificamente, a parte distal da zona de transição no ápice das raízes, onde as células estão entrando em fase de alongamento, é o sítio da ação tóxica primária do  $\text{Al}^{3+}$  (Sivaguru & Horst, 1998). Consequentemente, influenciando negativamente também a absorção radicular de água e nutrientes (Brondani & Paiva, 1996).

As plantas de arroz de terras altas são conhecidas por sua rusticidade, tendo certa tolerância a baixo pH e  $\text{V}^{\%}$  e ao  $\text{Al}^{3+}$ , em especial cultivares considerados tradicionais (Fornasieri Filho & Fornasieri, 2006). No entanto, esses fatores limitam o crescimento das raízes nos primeiros centímetros do solo, na maioria das vezes a menos de 10 cm, onde se concentra a matéria orgânica (Kochian, 1995).

Em experimentação envolvendo  $\text{Al}^{3+}$  em solução nutritiva, ainda há dúvidas quanto à fonte de  $\text{Al}^{3+}$  a ser utilizada para gerar toxidez as plantas, já que Furlani & Furlani (1988) citavam que a fonte de o  $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , porém, os trabalhos recentes utilizam o  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (Zonta, 2003; Guimarães et al., 2006). Dessa forma, é importante selecionar a fonte mais eficiente em gerar toxidez por  $\text{Al}^{3+}$  às plantas cultivadas em solução nutritiva, e o acúmulo de micronutrientes pode auxiliar na seleção da fonte e dose de  $\text{Al}^{3+}$ .

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses e fontes de  $\text{Al}^{3+}$  no acúmulo de micronutrientes na parte aérea e raiz de plantas de arroz de terras altas, visando definir melhor fonte de  $\text{Al}^{3+}$  em gerar toxidez em plantas de arroz, para utilização em estudos com  $\text{Al}^{3+}$  em solução nutritiva.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Botucatu.

O delineamento foi de blocos casualizados, disposto em modelo fatorial 2x5 com quatro repetições, utilizando-se solução nutritiva. Os tratamentos foram duas fontes de  $Al^{3+}$  ( $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  e  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ) e cinco doses de  $Al^{3+}$  (0, 10, 20, 30 e 40  $mg\ dm^{-3}$ ). Foi utilizado o cultivar Maravilha, reconhecidamente sensível ao  $Al^{3+}$ . Foram utilizadas seis plantas de arroz por vaso.

A instalação do experimento foi realizada dia 17 de abril de 2012, com a preparação das plantas para utilização em solução nutritiva. Estas foram obtidas de acordo com descrição de Freitas (2011), e em seguida dia 01 de maio foram transferidas para vasos plásticos contendo 4L de solução nutritiva descrita por Furlani e Furlani (1988), onde foram mantidas durante 7 dias à meia força iônica visando a aclimação das plântulas. Posteriormente dia 8 de maio a solução foi substituída por força total e adicionados os tratamentos dia 21 de maio. A colheita do experimento foi realizada dia 25 de junho.

Após a colheita, a parte aérea e raiz das plantas foram lavadas, secas em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C até peso constante. Em seguida as amostras foram moídas para avaliação química para determinação dos teores de B, Cu, Mn, Fe e Zn segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Através dos dados de produção de matéria seca e dos teores de nutrientes da raiz e da parte aérea, foi determinado o acúmulo de macronutrientes no sistema radicular e parte aérea, respectivamente. O cálculo foi obtido multiplicando os valores de teores pelos valores de matéria seca.

Os resultados do experimento foram submetidos à análise de variância. Os efeitos de doses de  $Al^{3+}$  foram avaliados por meio de análise de regressão, e adotou-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. As médias do experimento referentes às fontes de  $Al^{3+}$  foram comparadas pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando-se cloreto de alumínio, há inicial decréscimo acentuado no acúmulo de B da parte aérea até a dose 20  $mg\ dm^{-3}$ , posterior houve discreto aumento (Figura 1A). Houve comportamento similar para B na raiz, no entanto com ajuste linear decrescente (Figura 1B). Tanto

para parte aérea quanto para raiz, a fonte sulfato de alumínio não influenciou o acúmulo de B.

Para o acúmulo de Cu na parte aérea houve aumento inicial e posterior decréscimo com a aplicação de  $Al^{3+}$  nas duas fontes estudadas (Figura 1C). Já o acúmulo de Cu na parte aérea e raiz foram decrescentes com a aplicação de  $Al^{3+}$  (Figura 1D).

O acúmulo na parte aérea e raiz de Fe (Figura 2A e B), Mn (Figura 2C e D) e Zn (Figura 2E e F) foram decrescentes com aplicação de  $Al^{3+}$ . Ao ocorrer o contato das raízes com o  $Al^{3+}$  há inibição do crescimento destas, conforme já comentado, conseqüentemente, há influencia negativa na absorção de nutrientes em geral (Brondani & Paiva, 1996), nesse caso em específico de micronutrientes.

Com relação as médias das fontes em estudo, comparando-as, observou-se que ao utilizar cloreto de alumínio o acúmulo de Cu, Mn, Fe e Zn foram menores em comparação aos obtidos com a utilização de sulfato de alumínio. O acúmulo de Fe e Zn na raiz foi menor com a utilização de cloreto de alumínio (Tabela 1).

Dessa forma, devido ao menor acúmulo de micronutrientes o cloreto de alumínio pode gerar maior toxidez por  $Al^{3+}$  as plantas de arroz de terras altas cultivadas em solução nutritiva.

## CONCLUSÕES

Com a aplicação de  $Al^{3+}$  há menor absorção de micronutrientes.

Ao aplicar cloreto de alumínio há menor acúmulo de Cu, Mn, Fe e Zn na parte aérea, Fe e Zn na raiz, em comparação ao sulfato de alumínio.

Se baseado no acúmulo de micronutrientes na raiz e parte aérea pode-se definir o cloreto de alumínio como mais eficiente em gerar toxidez por  $Al^{3+}$  as plantas de arroz em experimentação utilizando-se solução nutritiva.

## AGRADECIMENTOS

À agência FAPESP pelo financiamento do projeto. Ao CNPq pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. Relationship between acidity and chemical properties of brazilian soils. *Scientia Agricola*, 60:337-343, 2003.

BRONDANI, C. & PAIVA, E. Análise de RFLP da tolerância à toxidez do alumínio no cromossomo 2 do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31:575-579, 1996.

FORNASIERI FILHO, D. & FORNASIERI, J. L. Manual da cultura do arroz. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 589p.

FREITAS, L. B. Silício na tolerância ao alumínio por plantas de arroz. 2011. 100 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Unesp, Botucatu, 2011.

FURLANI, P. R. & FURLANI, A. M. Composição de pH de solução nutritiva para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1988. p. 21-26. (Boletim técnico, 121).

GUIMARAES, C. M.; NEVES, P. C. F.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Resistência do arroz de terras altas ao alumínio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 10:855-860, 2006.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 46:237-260, 1995.

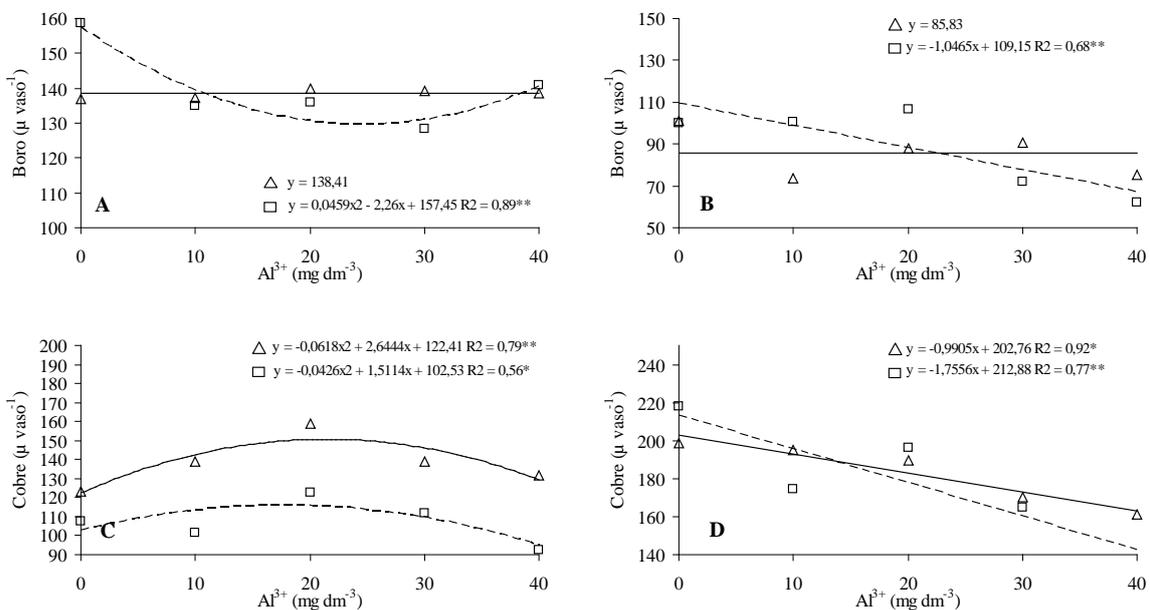
MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 215p.

MEHARG, A. A. The role of the plasmalemma in metal tolerance in angiosperms, Plant Physiology, 88:191–198, 1993.

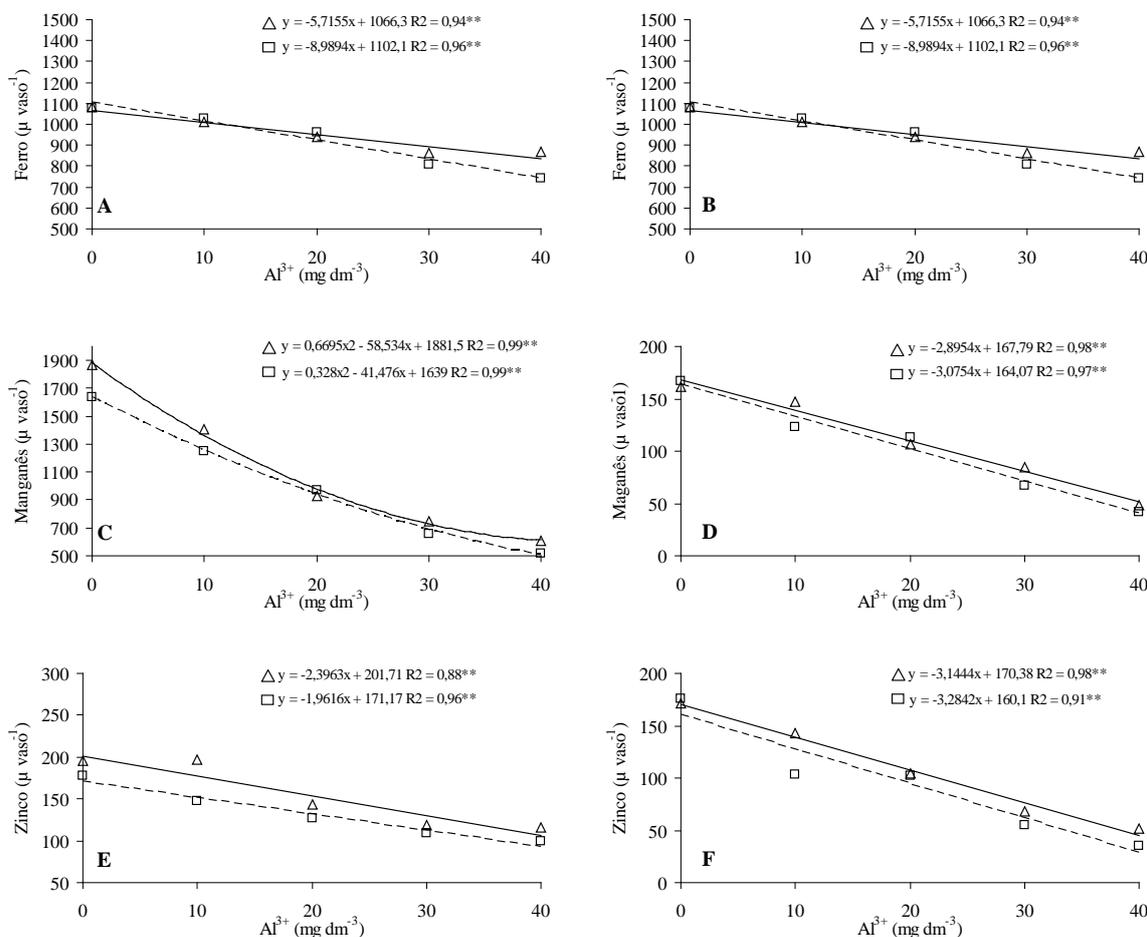
PIÑEROS, M. A.; MAGALHAES, J. V.; CARVALHO, A. V. M.; KOCHIAN, L. V. The physiology and biophysics of an aluminum tolerance mechanism based on root citrate exudation in maize. Plant Physiology, 129:1194–1206, 2002.

SIVAGURU, M. & HORST, W. J. The distal part of the transition zone is the most aluminum-sensitive apical root zone of maize. Plant Physiology, 116:155-163, 1998.

ZONTA, E. Estudos da Tolerância ao Alumínio em Arroz de Sequeiro e Seus Efeitos Sobre a Interface Solo-Planta. 2003. 139 p. Tese (Pós Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.



**Figura 1.** Acúmulo de boro na parte aérea (A) e raiz (B) e cobre na parte aérea (C) e raiz (D) em função da aplicação das fontes de alumínio, sulfato de alumínio ( $\Delta$ ) e cloreto de alumínio ( $\square$ )



**Figura 2.** Acúmulo de ferro na parte aérea (A) e raiz (B), manganês na parte aérea (C) e raiz (D) e zinco na parte aérea (E) e raiz (F) em função da aplicação das fontes de alumínio, sulfato de alumínio (Δ) e cloreto de alumínio (□)

**Tabela 1.** Média do acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio E enxofre na parte aérea e raiz em função da aplicação de duas fontes de alumínio

Fontes	Parte aérea				
	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	-----µ vaso <sup>-1</sup> -----				
Sulfato de alumínio	138,41	138,24a	1112,49a	951,95a	153,78a
Cloreto de alumínio	139,80	107,21b	1006,23b	922,31b	131,94b
CV(%)	8,9	12,6	7,7	8,7	15,9
Fontes	Raiz				
	B	Cu	Mn	Fe	Zn
	-----µ vaso <sup>-1</sup> -----				
Sulfato de alumínio	85,83	182,95	109,88	3074,80a	107,49a
Cloreto de alumínio	88,21	177,77	102,56	2476,62b	94,41b
CV(%)	23,4	12,9	17,0	14,4	17,4

Médias seguidas de letras diferentes, dentro de cada parâmetro, diferem entre si, pelo teste t a 5% de probabilidade