



Sistema radicular de cultivares de arroz submetidas ao alumínio em solução nutritiva

Root system of rice cultivars subjected to aluminum in nutrient solution

Laerte Marques da Silva¹, Neumárcio Vilanova da Costa², Carlos Alexandre Costa Crusciol³, Pedro Roberto Almeida Viegas¹

¹Universidade Federal de Sergipe. Departamento da Engenharia Agrônômica; Av. Mal. Rondon, s/n; Cep: 49100 – 000; São Cristóvão – SE; E-mail: laertemarquesilva@hotmail.com.

²Universidade do Oeste do Paraná. Campus de Marechal Rondon: Centro de Ciências Agrárias.

³Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp; Departamento de Produção Vegetal.

Recebido em: 19/07/2010

Aceito em: 15/07/2011

Resumo. Embora tenham sido realizados numerosos estudos em solução nutritiva com o intuito de caracterizar os danos causados pelo alumínio no sistema radicular de arroz, ainda são incipientes pesquisas sobre o desenvolvimento do sistema radicular de cultivares de arroz associadas aos grupos comerciais moderno, intermediário e tradicional. Em função do exposto, o presente trabalho objetivou estudar as respostas de cultivares de arroz quanto ao crescimento radicular e desenvolvimento da parte aérea sob diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em solução nutritiva, em condições de casa de vegetação, no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu, SP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições, seguindo modelo fatorial 3 x 4, com três cultivares de arroz (BRS Talento, Caiapó e Primavera) e quatro níveis de alumínio na solução nutritiva (0,0; 10,0; 20,0 e 40,0 mg L⁻¹). Concluiu-se que a cultivar Primavera do grupo intermediário tem sistema radicular mais tolerante a toxicidade do alumínio, enquanto a BRS Talento do grupo moderno é mais sensível. O comprimento radicular, a massa seca das raízes, da parte aérea e total são bons indicadores de tolerância ao Al³⁺.

Palavras-chave. Comprimento radicular, grupo comercial, *Oryza sativa* L., raízes, toxidez.

Abstract. Although, numerous studies about nutrient solution have been made for a long time, in order to characterize the damage caused by aluminum in the roots of plants of rice, it is still incipient studies on rice cultivars of groups modern intermediary and traditional. In light of the above, this study investigated the responses of cultivars of rice, on the root growth, development of shoots from different levels of aluminum in nutrient solution. The experiment was conducted in nutrient solution in greenhouse, on Department of Plant Production of FCA, UNESP, Campus de Botucatu, SP. The experimental design was completely random with four replicates, using a 3 x 4 factorial design, with three cultivars of rice (BRS Talento, Caiapó and Primavera) and four levels of aluminum in nutrient solution (0.0, 10.0, 20.0 and 40.0 mg L⁻¹). Those results, it has been concluded that: Primavera cultivar (intermediate group) has a root system more tolerant to aluminum toxicity, while the 'BRS Talent' (modern group) was more sensitive. The root system, the dry mass of roots, shoots and the total are good indicators of tolerance to Al³⁺.

Keywords. Commercial group, *Oryza sativa* L., roots, root length, toxicity.

Introdução

A toxidez de alumínio ocorre em solos ácidos, sendo um dos fatores limitantes à cultura de arroz de sequeiro (*Oryza sativa* L.) (Malavolta, 1980). O alumínio pode afetar a absorção de água e de nutrientes pelas raízes das plantas por meio da redução do comprimento radicular total (Giannakoula et al., 2008; Guo et al., 2007).

Embora o arroz seja considerado uma das espécies cultivadas que apresenta maior tolerância ao alumínio (Fageria & Santos, 1988), existem variações genótípicas bem documentadas na literatura (Fageria & Santos, 1988; Justino, et al., 2006, Freitas et al., 2006). A seleção de cultivares tolerantes à toxidez de alumínio é um dos recursos mais importantes para possibilitar a produções



agrícolas em solos ácidos. Embora pouco se saiba sobre o mecanismo pelo qual o alumínio exerce seus efeitos tóxicos nas plantas, o sintoma de toxicidade mais facilmente reconhecido é a redução do comprimento das raízes, o qual tem se tornado importante indicador do estresse para esse elemento (Fageria & Santos, 1988). Com isto, a obtenção de cultivares tolerantes à toxicidade de alumínio vem despertando o interesse de muitas áreas da pesquisa, particularmente quando se pretende explorar eficientemente solos com acidez subsuperficial e elevado teor de alumínio, de difícil correção com manejo químico. Teores elevados de alumínio, associados a períodos de deficiência hídrica, reduzem drasticamente a produtividade, inviabilizando, às vezes, o cultivo em áreas de solos ácidos (Freitas et al., 2006).

A calagem é uma prática cultural que possibilita minimizar este problema o que contribui para elevar o pH, principalmente na camada arável do solo, insolubilizando o alumínio e, portanto, reduzindo sua toxicidade relativa (Caires et al., 2008; Camargo et al., 1998). Entretanto, muitas vezes esta prática cultural não é realizada, por não estar ao alcance econômico dos produtores (Caires et al., 2008). Além disso, dada a dificuldade técnica de se realizar a calagem abaixo da camada arável, o excesso de alumínio trocável torna-se especialmente prejudicial no subsolo, reduzindo a profundidade e a ramificação do sistema radicular, tornando as plantas predispostas a outros tipos de estresse, como, por exemplo, a seca. Camargo et al. (1998), verificaram que o alumínio causa mudanças severas e irreversíveis na parede celular, induzindo a lignificação do ápice radicular de trigo, e causando inibição do alongamento celular. Foy (1983) relata que baixas doses de alumínio, em algumas espécies de plantas, podem ser benéficas ao seu crescimento. Silva (1992) verificou que o crescimento de plantas de arroz foi estimulada pela adição de até 5 mg de Al^{3+} L^{-1} em solução nutritiva. Já para o milho, beterraba e algumas espécies de leguminosas tropicais, as concentrações de alumínio que resultam em estímulo do crescimento da parte aérea variam entre 71,4 μM e 185 μM , enquanto para plantas de chá preto (*Camellia sinensis* Kuntze), o crescimento é estimulado com 1000 μM (Matsumoto et al., 1976). No entanto, a natureza dos efeitos benéficos do alumínio ainda é desconhecida, mas Huang & Bachelard (1993),

citam que esse estímulo ao crescimento ocorre sob condições de estresse ao H^+ , concluindo que o Al^{3+} minimiza a toxicidade do H^+ .

Vasconcelos et al. (2002), estudando o efeito do alumínio em duas cultivares de arroz (Comum Branco e IAC 899), verificaram decréscimo no alongamento celular com o aumento dos níveis de alumínio na solução nutritiva. Segundo Mendonça (2005), a toxidez de Al^{3+} em arroz promove reduções na massa seca e no número de raízes, no comprimento e na área radicular, frequentemente associado ao aumento do raio médio e do volume de raízes. Na parte aérea, têm sido descritas reduções na massa seca e na altura de plantas (Vasconcelos et al., 2002; Fageria & Santos, 1988; Vicente et al., 1998). Ao compararem esses sintomas como indicador de toxidez, para propósitos de avaliação de genótipos, os resultados têm sido diversos. Fageria & Santos (1988), concluíram que as massa seca da parte aérea e das raízes foram mais susceptíveis à toxidez de Al^{3+} que a altura da planta e do comprimento radicular. Embora tenham sido realizados numerosos estudos em solução nutritiva com o intuito de caracterizar os danos causados pelo Al em arroz, ainda são incipientes os estudos sobre o desenvolvimento do sistema radicular de cultivares de arroz associadas aos grupos comerciais moderno, intermediário e tradicional. Em função do exposto, o presente trabalho objetivou estudar as respostas de cultivares de arroz quanto ao crescimento radicular e desenvolvimento da parte aérea sob diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Departamento de Produção Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu, SP (22°51' S, 48°26' W; 740 m de altitude). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, disposto em arranjo fatorial 3 x 4, constituído por três cultivares de arroz (BRS Talento, Primavera e Caiapó, pertencentes aos grupos moderno, intermediário e tradicional, respectivamente) e quatro níveis de alumínio na solução nutritiva (0; 10; 20 e 40 mg L^{-1}), totalizando 48 unidades experimentais.

Para instalação do experimento, as sementes de arroz foram tratadas com Carboxin + Thiram na dose de 300 mL do produto comercial

por 100 kg de sementes. Posteriormente, as sementes foram colocadas em germinador à temperatura de 25 °C. Após 48 h, quando foi observado o início da emergência da radícula, as sementes foram semeadas em vasos plásticos, contendo areia lavada e desinfetada e em seguida foram transferidos para casa de vegetação de vidro, com temperatura controlada (28 ± 1 °C).

Aos 20 dias após a emergência (DAE), as plantas foram selecionadas quanto à uniformidade de forma e tamanho e transferidas para vasos plásticos pretos contendo 20 L de solução nutritiva descrita por Furlani & Furlani (1988), a meia força iônica (Tabela 1). As tampas utilizadas foram confeccionadas a partir de placas de isopor

que foram perfuradas para acoplar seis plantas por vaso, presas por pedaços de espuma, possibilitando o contato das raízes com a solução nutritiva. Aos 27 DAE, a solução foi trocada por uma de força total (Furlani & Furlani, 1988) e as diferentes doses de alumínio foram aplicadas. Durante todo o período, a solução nutritiva foi aerada e o pH monitorado diariamente, mantendo-a em torno de $4,0 \pm 0,2$, utilizando-se para sua correção uma solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH a $0,1 \text{ Mol L}^{-1}$) ou ácida de ácido clorídrico (HCl a $0,1 \text{ Mol L}^{-1}$). A solução nutritiva foi renovada semanalmente e as perdas por evapotranspiração foram repostas diariamente com água desmineralizada e deionizada.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva (Furlani & Furlani, 1988).

Nº	Componentes	Concentração (g L ⁻¹)	Solução estoque (ml L ⁻¹)
1	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O.	236	2,0
2	CaCl ₂ anidro ⁽¹⁾	111	0,3
3	K ₂ SO ₄	174	0,1
4	MgSO ₄ .7H ₂ O	246	0,5
5	KH ₂ PO ₄	136	0,2
6	KNO ₃	101	0,9
7	MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81	-
8	H ₃ BO ₃	2,86	-
9	ZnCl ₂	0,1	-
10	CuCl ₂	0,04	-
11	H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	0,02	-
12	FeSO ₄ .7H ₂ O	0,01	-
13	Fe-EDTA	0,01	1,6
Tratamentos (mg L⁻¹)			
0,0	AlCl ₃ .6H ₂ O	0,00	0,00
10,0	AlCl ₃ .6H ₂ O	241,50	98,79
20,0	AlCl ₃ .6H ₂ O	241,50	148,19
40,0	AlCl ₃ .6H ₂ O	241,50	197,58

Aos 60 DAE, quando a maioria das plantas encontrava-se no estágio de diferenciação floral, foi realizada a colheita do experimento. Foram determinados os números de perfilhos por planta e a altura da planta, medindo-se a distância entre o colo da mesma até a extremidade superior da folha mais alta. Considerando-se a média de quatro plantas por unidade experimental.

Posteriormente, as plantas foram seccionadas na altura do colo, sendo a parte aérea lavada e colocada em estufa com circulação forçada de ar a 70° C para secagem até massa constante, visando obter a massa seca da parte aérea. As raízes separadas foram lavadas em água corrente sobre peneira de 0,5 mm de malha. Foi tomada, no sentido longitudinal, uma subamostra das raízes



(aproximadamente $\frac{1}{8}$ do total), a qual foi colocada em frasco com álcool 50 % e armazenadas sob refrigeração. O restante das raízes foram secas em estufa com ventilação forçada a 70°C até peso constante, visando obter a massa seca.

As amostras acondicionadas em álcool foram utilizadas na determinação do comprimento total, área superficial, volume total e diâmetro médio por meio da digitalização de imagem, utilizando scanner HP Scanjet 4c/T e o *software* WinRHIZO Reg. 3.8b (Regent Instruments Inc.). Após essas determinações, as amostras foram secas em estufa até massa constante e pesadas, sendo obtida a massa seca das raízes.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Quanto às doses de alumínio e ao desdobramento da interação das doses de alumínio dentro de cultivares adotou-se análise de regressão, sendo que a equação mais adequada foi definida primeiramente pelo efeito significativo e posteriormente pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2).

Resultados e Discussão

Houve diferenças significativas entre as cultivares de arroz, doses de alumínio e da interação entre os fatores para comprimento, área

de superfície, volume e diâmetro médio do sistema radicular (Tabela 2). Através do teste comparação de medias nota-se que a cultivar Caiapó apresentou os menores valores de comprimento, área de superfície e volume do sistema radicular do que a BRS Talento e Primavera.

Quanto ao comprimento radicular, as cultivares apresentaram resposta positiva e quadrática aos níveis de alumínio (Figura 1). Na ausência do Al^{3+} o maior valor de comprimento radicular foi verificado na cultivar BRS Talento. No entanto, sob baixos níveis desse íon as cultivares apresentaram aumento no comprimento radicular até as doses aproximadas de 9,5, 18,5 e 21,0 $mg L^{-1}$, respectivamente, para 'BRS Talento', 'Primavera' e 'Caiapó'. Esse resultado está relacionado às características genéticas, pois, a cultivar do grupo moderno BRS Talento apresentou comprimento radicular muito desenvolvido na ausência de Al^{3+} , sendo que, a mesma foi selecionada para sistemas de produção de solos corrigidos. Em contrapartida, as cultivares Caiapó e Primavera, pertencentes aos grupos tradicional e intermediário, respectivamente, tiveram incremento no comprimento radicular sob baixos níveis de alumínio, mostrando ser mais adaptadas a solos ácidos do que a cultivar BRS Talento.

Tabela 2. Comprimento, área de superfície, volume e diâmetro médio do sistema radicular de cultivares (C) de arroz em função de doses de alumínio ($D.Al^{3+}$).

Cultivares	Comprimento (m planta ⁻¹)	Superfície (cm ² planta ⁻¹)	Volume (cm ³ planta ⁻¹)	Diâmetro (mm)
BRS Talento	42,49a	521,25ab	165,91ab	0,03b
Primavera	34,82b	552,80a	175,96a	0,04a
Caiapó	29,43c	463,36b	146,91b	0,04a
----- Valor de F -----				
Cultivar	18,01**	3,50*	3,88*	46,27**
Dose de Al^{3+}	33,54**	19,90**	20,51**	9,31**
C x D. Al^{3+}	8,20**	4,19**	4,29**	33,73**
C.V. (%)	17,38	18,91	18,63	7,46

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. ^{ns} Não significativo. * e ** significativo a 5%, 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O aumento do crescimento radicular em baixos níveis de alumínio pode estar relacionado à sua neutralização nas células das raízes da planta (Figura 1). O Al pode ter sido complexado por ácidos orgânicos (Silva, 2008) e mantido inativo

no citoplasma, nos vacúolos (Taylor, 1988), ou nas interações com calmodulina (Giannakoula et al., 1985; 2008), prevenindo os seus efeitos negativos nos processos metabólicos. Outros autores verificaram o efeito benéfico de baixos

níveis de alumínio sobre o crescimento radicular em algumas espécies, com destaque para, chá preto (Matsumoto et al., 1976), goiabeira (Salvador et al., 2000), arroz (Vasconcelos, et al., 2002) e em soja (Caires, et al., 2008).

Desta forma, pode-se inferir que a cultivar BRS Talento apresenta baixa tolerância ao alumínio, uma vez que, a partir de 9,5 mg L⁻¹ de Al³⁺ na solução nutritiva, houve redução significativa do comprimento radicular, enquanto que as cultivares dos grupos intermediário e tradicional apresentaram melhores resultados para o crescimento das raízes na presença do alumínio (Figura 1). Comparando-se o máximo crescimento radicular das cultivares até a concentração de 40 mg L⁻¹ de Al³⁺, observa-se redução em 55, 35 e 58 % no crescimento das raízes, respectivamente, para ‘BRS Talento’, ‘Primavera’ e ‘Caiapó’. Comportamento semelhante foi observado por Mendonça (2005), o qual observou redução média

de 24 % no comprimento radicular com o aumento dos níveis de alumínio na solução.

Quanto à área de superfície e volume radicular (Figura 1), as cultivares de arroz apresentaram comportamento semelhantes. Assim, na ausência do Al³⁺, os maiores valores de área de superfície e de volume radicular foram verificados na ‘BRS Talento’. Sob baixos níveis de alumínio, as cultivares apresentaram aumento na superfície e no volume radicular até aproximadamente, 16,9 e 21,1 mg L⁻¹ de Al³⁺ na solução nutritiva, respectivamente, para ‘Primavera’ e ‘Caiapó’. Os incrementos da superfície e do volume radicular observados na cultivares de arroz, sob baixos níveis de alumínio, estão diretamente relacionados ao aumento do comprimento radicular (Figura 1).

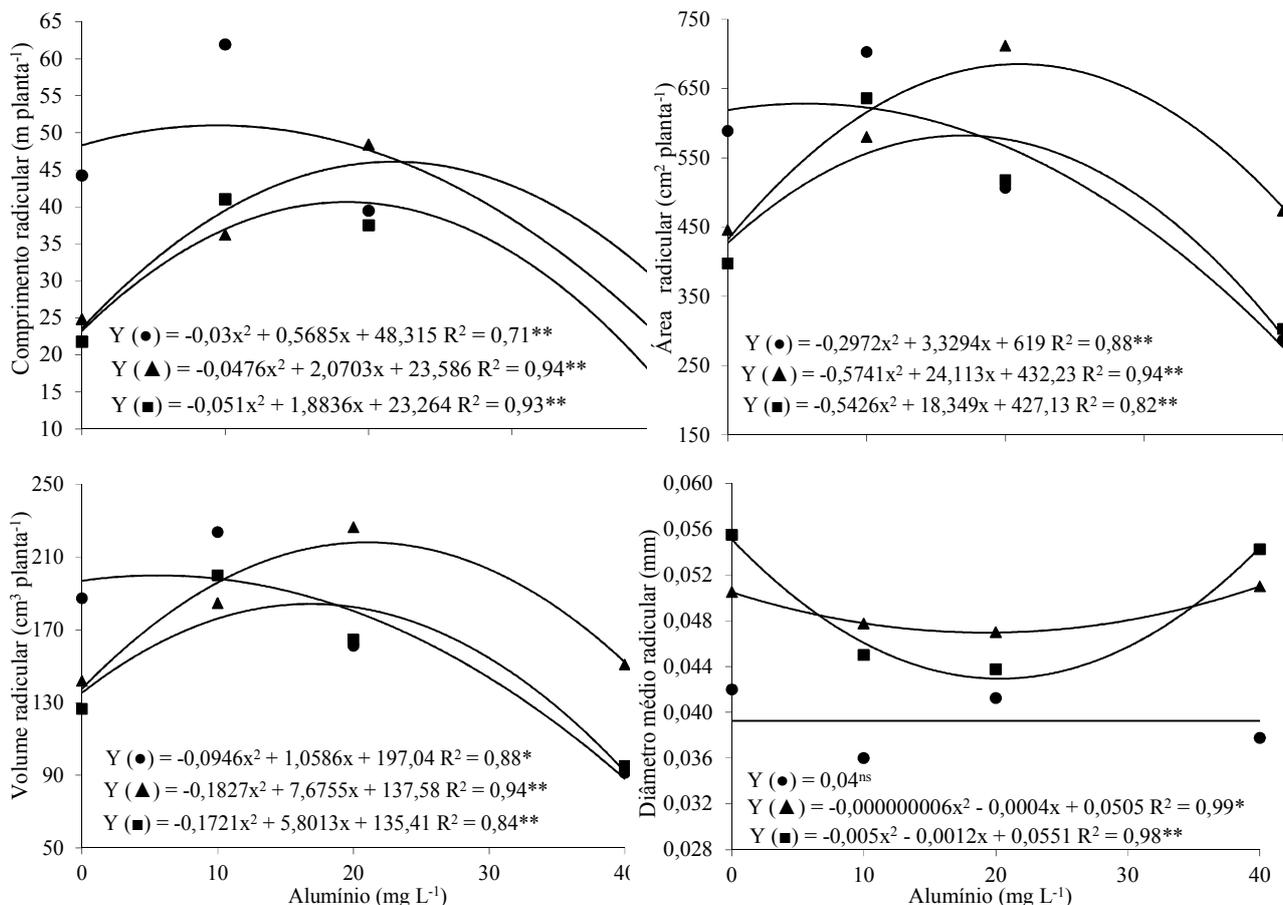


Figura 1 - Comprimento, área radicular, volume radicular e diâmetro médio radicular das cultivares BRS Talento (●), Primavera (▲) e Caiapó (■) de arroz, em razão das doses de alumínio. **, * significativos a 0,05 e 0,01%, respectivamente.



O acréscimo do comprimento radicular, em baixos níveis de alumínio, aumentou a área de superfície e do volume radicular das cultivares de arroz, estes resultados tornam-se interessantes, uma vez que, com maior área de superfície de contato, as raízes têm melhores condições de absorção de nutrientes na solução de forma mais eficiente.

Verifica-se que o diâmetro médio radicular das cultivares Caiapó e Primavera apresentaram resposta negativa e quadrática aos níveis de alumínio, reduzindo o diâmetro médio radicular até a dose aproximada de 20 mg L⁻¹ de Al³⁺ (Figura 1). Já na ‘BRS Talento’ os níveis de alumínio não afetaram o diâmetro médio radicular, apresentando o menor valor em relação às demais cultivares.

Houve diferenças significativas entre as cultivares de arroz, doses de alumínio e da interação entre os fatores para massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea, massa seca total, número de perfilho por planta e altura de plantas (Tabela 3). Através do teste de comparação de medias verificou-se que a cultivar Caiapó apresentou os menores valores de massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea, massa seca total e número de perfilho por planta em comparação com a “Primavera” e “BRS Talento”. A cultivar BRS Talento apresentou o menor valor para a variável altura de planta, este resultado esta diretamente relacionada às características genéticas das cultivares do grupo comercial moderno.

Tabela 3. Massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca total, números de perfilhos e altura de plantas de cultivares (C) de arroz em razão de doses de alumínio (D. Al³⁺).

Cultivares	Raíz	Parte aérea	Total	Perfilhos	Altura planta
	----- (g planta ⁻¹) -----			---- n ^o ----	---- cm ----
BRS Talento	0,63ab	2,33b	2,96b	12,25a	46,66b
Primavera	0,72a	3,27a	3,99a	9,81b	67,54a
Caiapó	0,58b	2,57b	3,16b	7,98c	65,34a
	----- Valor de F -----				
Cultivar	5,47**	13,91**	12,60**	49,18**	129,13**
Dose de Al ³⁺	20,47**	39,88**	38,60**	40,08**	52,08**
C x D.Al ³⁺	2,72*	2,72*	2,74*	4,42**	5,23**
C.V. (%)	17,83	19,15	18,20	12,20	6,74

C.V. = coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} Não significativo. * e ** significativo a 5 %, 1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Os níveis crescentes de alumínio proporcionaram aumentos significativos em relação à massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea e na massa seca total (Figura 2). Na variável massa seca do sistema radicular, constatou-se que as cultivares apresentaram incremento com o aumento das doses de alumínio até 20,6, 17,0 e 5,3 mg de L⁻¹ do Al³⁺, respectivamente para ‘Primavera’, ‘Caiapó’ e ‘BRS Talento’. Esses resultados estão diretamente relacionados com os aumentos do comprimento,

da área de superfície e do volume radicular (Figura 1) e corroboram com os resultados obtidos por Vicente et al. (1998), Vasconcelos, et al. (2002) e Carvalho et al. (2003).

Na ausência do alumínio a cultivar BRS Talento apresentou as maiores produções de massa seca da parte aérea e massa seca total, com 2,4 e 3,1 g planta⁻¹, respectivamente, sendo que os menores valores foram registrados na ‘Caiapó’ (Figura 2).

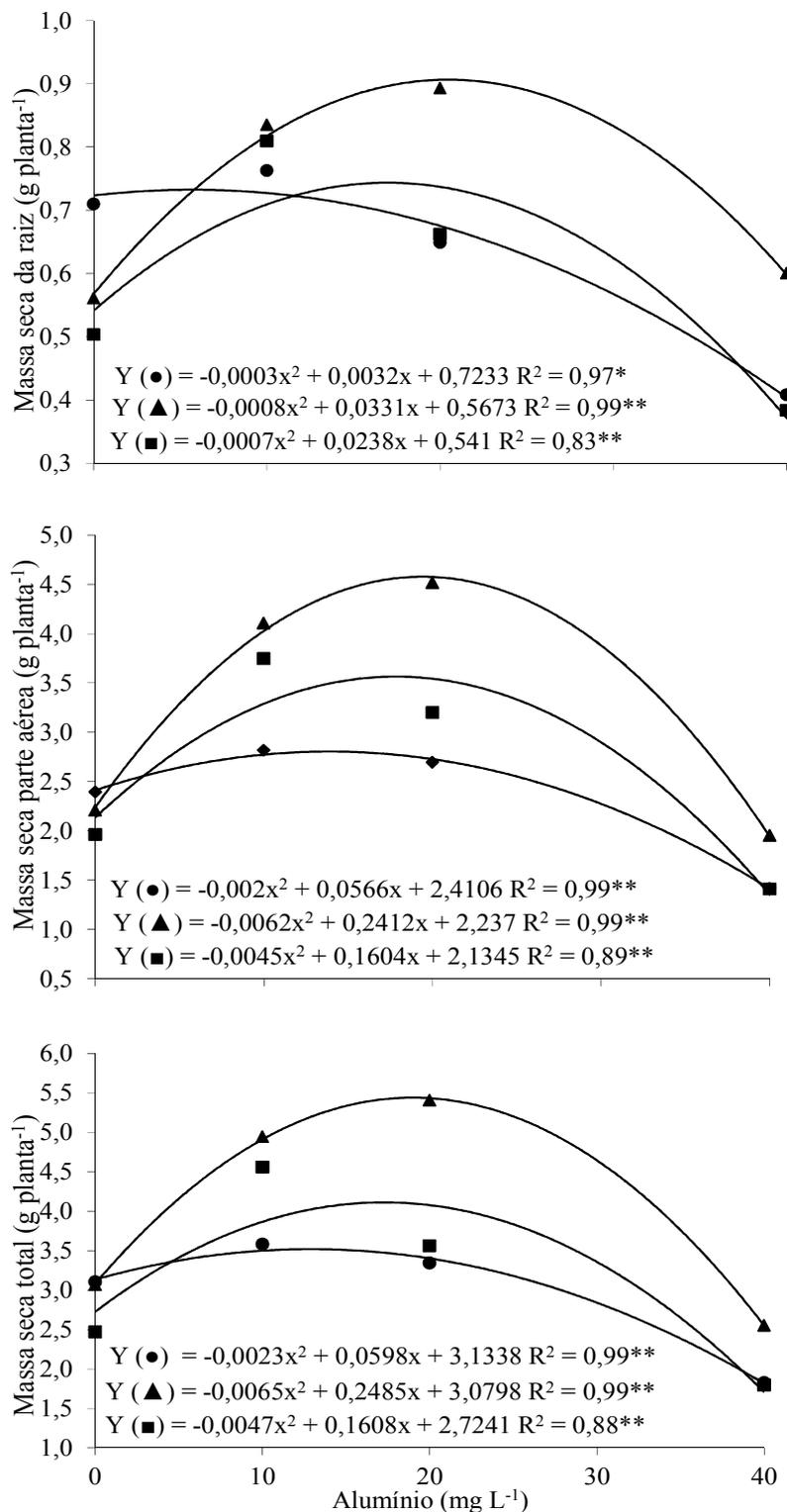


Figura 2. Massa seca da raiz, massa seca parte aérea e massa seca total (raízes + parte aérea) das cultivares BRS Talento (●), Primavera (▲) e Caiapó (■) de arroz em função das doses de alumínio. **, * significativos a 0,05 e 0,01%, respectivamente.



Sob baixos níveis de alumínio as cultivares apresentaram aumento na produção de massa seca da parte aérea e total até aproximadamente 14,0, 17,8 e 19,4 mg L⁻¹ do Al³⁺, respectivamente, para ‘BRS Talento’, ‘Primavera’ e ‘Caiapó’ (Figura 2). Estes resultados estão diretamente relacionados com o crescimento radicular das cultivares de arroz sob baixos níveis de alumínio (Figura 1), uma vez que, com o maior desenvolvimento das raízes, provavelmente, ocorreram incrementos na absorção de nutrientes, acarretando em maior desenvolvimento da parte aérea. A cultivar Primavera obteve as maiores produções de massa seca da parte aérea e total na presença de alumínio 17,8 mg L⁻¹ de alumínio, com ganho de 4,8 e 5,7g planta⁻¹, respectivamente, obtendo os menores valores a ‘BRS Talento’. Silva (1992), constatou efeito positivo no aumento da massa seca da parte aérea e total em plantas de arroz cultivadas sob níveis de 10 e 20 mg Al³⁺ L⁻¹ e negativo para 40 mg L⁻¹. Os efeitos negativos provocados pelo alumínio em plantas de arroz seriam atribuídos diretamente às deficiências de fósforo induzidas pelo Al³⁺. Assim, o fósforo ficaria retido nas raízes e não se movimentaria para a parte aérea da planta, podendo haver precipitação do P pelo Al³⁺, dando produtos de baixa solubilidade no meio, na superfície das raízes, em espaços intercelulares e tecidos condutores (Malavolta, 1980; Foy, 1983).

Quanto ao número de perfilhos por planta (Figura 3), observa-se que todas as cultivares apresentaram respostas positivas e quadráticas ao aumento das doses de alumínio. Na ausência desse íon, a ‘BRS Talento’ apresentou a maior quantidade de perfilhos por planta e na cultivar Caiapó, os menores valores. Com o aumento das doses de alumínio, a cultivar BRS Talento foi a que apresentou os melhores resultados até a dose de 10 mg L⁻¹ de Al³⁺. Os resultados apresentados pelas cultivares estão diretamente relacionados às características genéticas. Cultivar do grupo moderno, como a BRS Talento, foram melhoradas geneticamente, visando maior capacidade de perfilhamento e melhor arquitetura da planta (Breseghello et al., 1998).

A redução no perfilhamento de gramíneas, em decorrência do excesso de alumínio, é descrita na literatura. Fernandez et al. (1984), verificaram que a adição de 6 mg L⁻¹ de Al³⁺ na solução nutritiva reduziu em aproximadamente 50 % o perfilhamento da

forrageira *Brachiaria decumbens* em relação à testemunha. Já Silva (2008), verificou que as plantas de *Panicum maximum* foram severamente afetadas pela adição de alumínio na solução nutritiva, visto que o perfilhamento foi reduzido em 50 % e 77 % nas doses de 6 e de 12 L⁻¹ mg de Al³⁺, respectivamente, em relação à testemunha.

O alumínio proporcionou aumentos significativos na variável altura das plantas das cultivares de arroz, que responderam de forma positiva e quadrática às doses de Al³⁺, atingindo o valor máximo na dose aproximada de 17,71 mg Al³⁺ L⁻¹ na solução (Figura 3). A ‘Caiapó’ obteve o maior valor de altura de planta seguida pela ‘Primavera’ e a BRS Talento apresentou o menor valor. As diferenças em altura de plantas observada nas cultivares estão diretamente relacionadas às características genéticas. Cultivares do grupo tradicional como a Caiapó, apresentam plantas com altura elevada, raízes profundas, baixo perfilhamento e tolerância a solos com baixos níveis de fertilidade (Breseghello et al., 1998; Pinheiro, 1999).

O efeito verificado na altura de plantas de arroz sob baixas doses de alumínio (Figura 3), foram, também, evidenciados por Vicente et al., (1998). Efeito positivo do Al³⁺, em baixas concentrações na solução, talvez possa ser explicado pelos mecanismos fisiológicos de tolerância ao alumínio que ainda não estão bem esclarecidos (Carvalho et al., 2003). Esses autores registraram que plantas tolerantes ao alumínio aumentam o pH da solução nutritiva, provavelmente por absorver pequena quantidade de amônio. Em decorrência disso, aumentaria o pH próximo das raízes, diminuindo a solubilidade e a toxidez do alumínio. Estes fatos também foram evidenciados nos estudos de Furlani & Furlani (1988), Mendonça et al. (2005) e Justino et al (2006), em arroz.

Analisando os resultados de comprimento, área de superfície, volume, diâmetro médio do sistema radicular, massa seca radicular, massa seca da parte aérea e massa seca total (Figuras 1 e 2), pode se inferir que a cultivar Primavera, do grupo intermediário, apresentou maior tolerância ao alumínio, sendo que, a ‘BRS Talento’, do grupo comercial moderno é a mais sensível a este elemento. A menor tolerância ao alumínio verificado na cultivar do grupo moderno, tem como hipótese ao melhoramento genético que passou a cultivar visando melhor a arquitetura da

planta e a capacidade produtiva de grãos, em solos com boa fertilidade.

De maneira geral, as cultivares de arroz apresentaram incremento no seu desenvolvimento sob baixas doses de alumínio, ou seja, o Al^{3+} em níveis considerados tóxicos para outras culturas

agrícolas, favoreceram o crescimento do arroz, com expressivo destaque para a Primavera do grupo intermediário (Figuras 1, 2 e 3).

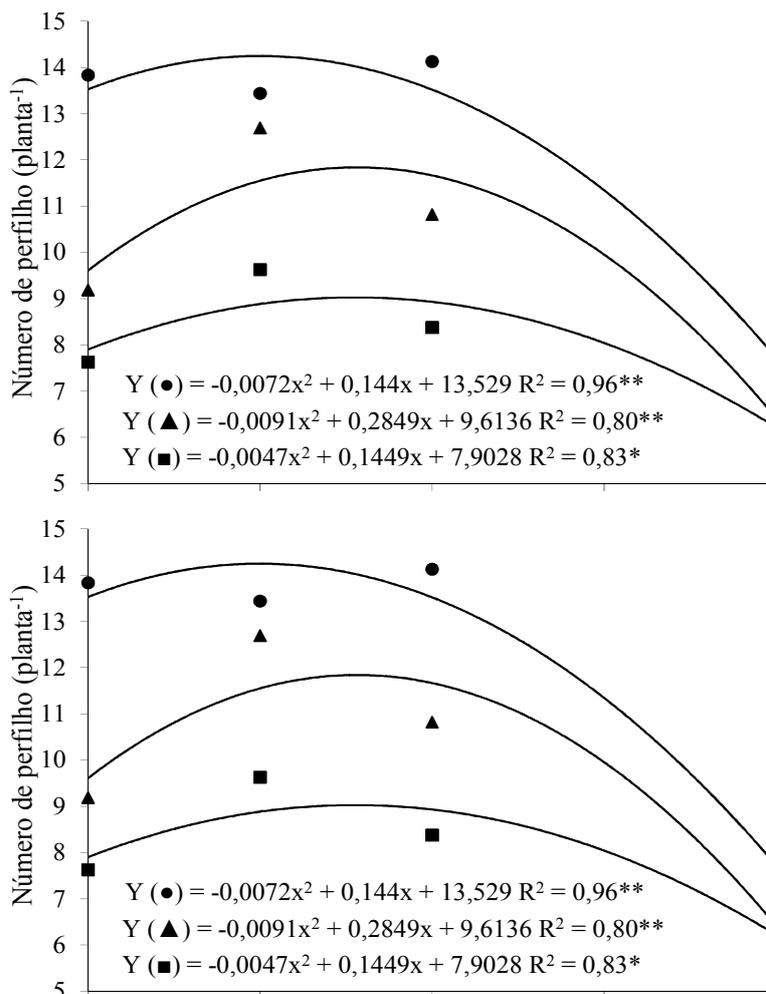


Figura 3. Número de perfilhos por planta e altura de plantas das cultivares BRS Talento (●), Primavera (▲) e Caiapó (■) de arroz em razão das doses de alumínio. **, * significativos a 0,05 e 0,01%, respectivamente.

Conclusões

O alumínio, em baixos níveis, favorece o crescimento radicular do arroz. A cultivar Primavera, do grupo comercial intermediário, tem sistema radicular mais tolerante à toxicidade do alumínio, enquanto a 'BRS Talento', do grupo moderno, é mais sensível. A cultivar BRS Talento do grupo comercial moderno, tem baixa tolerância a toxicidade de alumínio. A cultivar Caiapó do

grupo comercial tradicional, tem baixo índice de perfilhamento.

O sistema radicular, a massa seca das raízes, da parte aérea e total são bons indicadores de tolerância ao Al^{3+} .

Referências

BRESEGHELLO, F.; CASTRO, E.M.; MORAIS, O.P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F., STONE, L. F. **Tecnologia para arroz de**



terras altas: Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, p.41-53, 1998.

CAIRES, E.F., GARBUIO, F.J., BARTH, G., CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v.28, n.1, p.57-67, 2008.

CAMARGO, C.E.O., PEREIRA FILHO, A.W.P., FREITAS, J.G. Avaliação de genótipos de centeio, triticale e trigo comum e trigo duro quanto à tolerância ao alumínio em solução nutritiva. **Scientia Agrícola**. v.55, n.2, p.227-232, 1998.

CARVALHO, J.R.P.; FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P.; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.61-67, 2003.

FAGERIA, N.K., SANTOS, A.B. Rice and common bean growth and nutrient concentration as influenced by aluminum on acid lowland soil. **Journal of Plant nutrition**, v.2, n.5, p.903-12, 1988.

FERNANDES, M.S., ROSSIELO, R.O., ARRUDA, M. L. R. Relações entre capacidade de troca de cátions das raízes e toxidez de alumínio em duas gramíneas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.6, p.631-637, 1984.

FOY, C.D. The physiology of plant adaptation to mineral stress. **Iowa State Journal Research**, v.57, p.355-391, 1983.

FREITAS, F.A., KOPP, M.M., SOUSA, R.O., ZIMMER, P.D., CARVALHO, F.I.F., OLIVEIRA, A.C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.72-79, 2006.

FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M. Composição de pH de solução nutritiva para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. **Boletim Técnico Agrônomo**, v.121, p.21-26, 1988.

GIANNAKOULA, A.; MOUSTAKAS, M; MYLONA, P.; PAPADAKIS, I.; YUPSANIS, T. Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and Al accumulation. **Journal of Plant Physiology**, v.165, n.4, p.385-396, 2008.

GUO, T.R., ZHANG, G.P., ZHOU, M. X., WU, F.B., CHEN, J.X. Influence of aluminum and cadmium stresses on mineral nutrition and root exudates in two barley cultivars. **Pedosphere**, v.17, n.4, p.505-512, 2007.

HUANG, J.W., BARCHELARD, E. P. Effects of aluminum on growth and cation uptake in seedlings of *Eucalyptus mannifera* and *Pinus radiata*. **Plant and Soil**, v.121-127, 1993.

JUSTINO, G.C., CAMBRAIA, J., OLIVA, M.A., OLIVEIRA, J.A. Absorção e redução de nitrato em duas cultivares de arroz na presença de alumínio, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.8, p.1285-1290, 2006.

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

MATSUMOTO, H., HIRASAWA, F., TORIKAL, H. Localization of absorbed aluminium in pea root its binding to nucleic acid. **Plant and cell physiology**, v.17, n.1, p.627-631, 1976.

MENDONÇA, J. R., CAMBRAIA, J., OLIVA, A. M., OLIVEIRA, A. J. Capacidade de cultivares de arroz de modificar o pH de soluções nutritivas na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.447-452, 2005.

PINHEIRO, B.S. Características morfofisiológicas da planta relacionada à produtividade. In: **A cultura do arroz no Brasil**: Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, p.116- 147, 1999.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C.P. Influencia do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.24, n.4, p.787-796, 2000.



SILVA, A.A.P. **Parâmetros biométricos e fisiológicos do crescimento de plantas de arroz (*Oriza sativa* L.) cv. Rio Paraíba submetidas a níveis crescentes de alumínio, em cultivo hidropônico.** Botucatu, 1992, 116p, Dissertação (Mestrado em Botânica), Instituto Básico de Biologia e Agrícola, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, L. A. **Validação do efeito do gene *AltSB* que controla a tolerância ao alumínio em sorgo.** 2008. 75f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2008.

TAYLOR, G.J. The physiology of aluminium tolerance in higher plant. **Communications in** VASCONCELOS, S. S.; ROSSIELLO, R. O. P.; JACOBINE NETO, J. Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.357-363, 2002.

VICENTE, F.M.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PEREIRA, M.B. Características indicativas de sensibilidade ao alumínio em arroz. I. Crescimento em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.1, p.09-15, 1998.