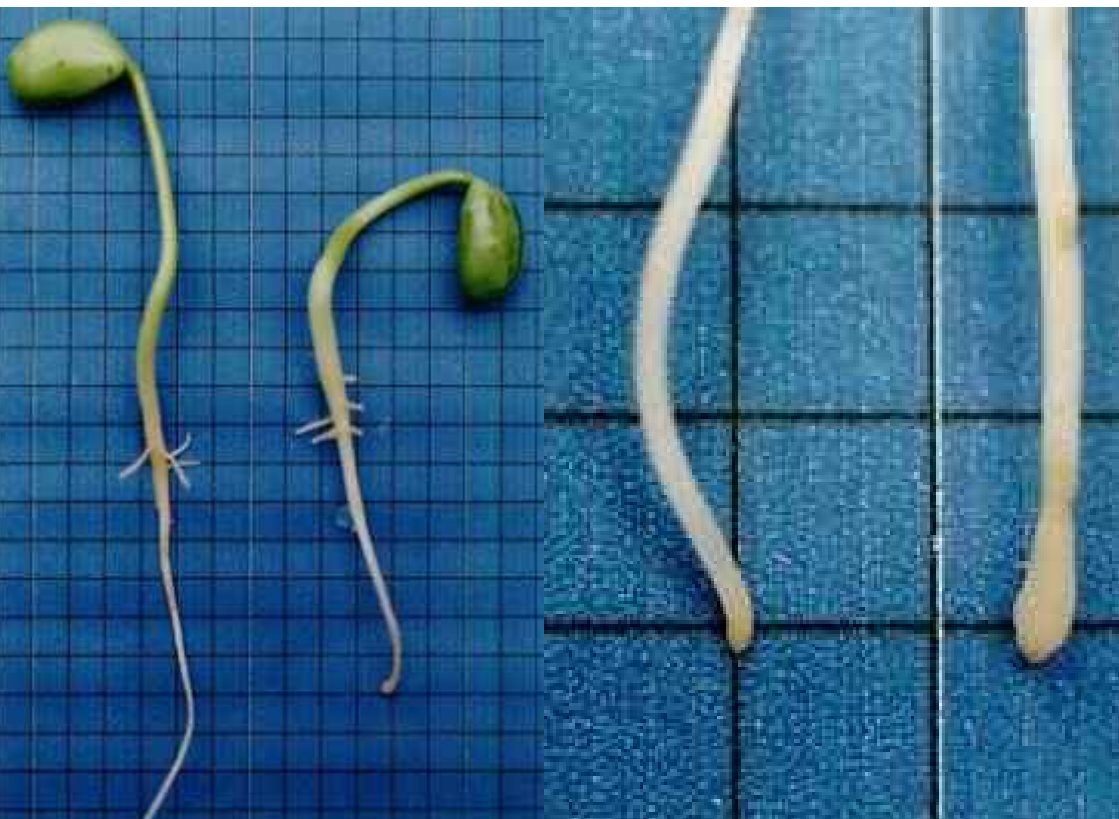


## Tempo de Exposição e Fonte de Cálcio na Seleção de Soja Tolerante ao Alumínio em Hidroponia





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Julho, 2004

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 130***

## **Tempo de Exposição e Fonte de Cálcio na Seleção de Soja Tolerante ao Alumínio em Hidroponia**

Carlos Roberto Spehar  
Luiz Augusto Copati Souza

Planaltina, DF  
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

http\www.cpac.embrapa.br

sac@cpac.embrapa.br

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Hozana Alvares de Oliveira*  
*Rosângela Lacerda de Castro*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Fotos da capa: *Carlos Roberto Spehar*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*  
*Jaime Arbués Carneiro*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

**1ª edição**

1ª impressão (2004): tiragem 100 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.  
Embrapa Cerrados.

---

S742t Spehar, Carlos Roberto.

Tempo de exposição e fonte de cálcio na seleção de soja tolerante ao alumínio em hidroponia / Carlos Roberto Spehar, Luiz Augusto Copati Souza. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2004.

16 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 130)

1. Soja - melhoramento vegetal. 2. Cultivo hidropônico. I. Souza, Luiz Augusto Copati. II. Título. III. Série.

---

633.34 - CDD 21

© Embrapa 2004

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos .....	9
Resultados e Discussão .....	10
Conclusão .....	14
Referências Bibliográficas .....	14

# Tempo de Exposição e Fonte de Cálcio na Seleção de Soja Tolerante ao Alumínio em Hidroponia

*Carlos Roberto Spehar<sup>1</sup>*

*Luiz Augusto Copati Souza<sup>2</sup>*

**Resumo** – Realizaram-se testes com genótipos de soja para determinar qual a combinação entre a concentração e o período de exposição do alumínio (Al) e a fonte de cálcio (cloreto ou nitrato), sendo esta mais eficiente na seleção de plantas tolerantes ao Al em solução nutritiva. Os genótipos avaliados foram BR86 5974, BR86 7396, BR86 7485, FT Cristal, FT 100, FT Cristalina, Doko RC, FT Eureka, BR 40 (Itiquira) e BR 9 (Savana). Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso em parcelas subsubdivididas onde, nas parcelas, foram comparadas fontes de cálcio, nas subparcelas, concentrações de Al, e nas subsubparcelas genótipos. A concentração de 2 mg/L de Al foi apropriada para discriminar os genótipos 48 horas depois do início do teste. As fontes de cálcio não mostraram diferenças no alongamento radicular quando a concentração de Al excedeu 2 mg/L.

Termos para indexação: *Glycine max*, tolerância, estresse, genótipo, melhoramento de plantas.

---

<sup>1</sup> Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa Cerrados, spehar@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Agrôn., M.Sc., CREA-DF, gutocopati@yahoo.com

# Time of Exposure and Calcium Source in Hydroponics for Selecting Aluminium Tolerant Soybean

---

**Abstract** – Tests have been conducted with soybean genotypes to determine their reaction to aluminium (Al), by combining concentration and time of exposure to Al with two calcium sources (chlorite or nitrate) in simplified nutrient solution. The genotypes screened were BR86 5974; BR86 7396; BR86 7485; Doko RC; FT Eureka; FT Cristal; FT Cristalina; FT 100; BR 40 (Itiquira); BR 9 (Savana). A split-split-plot complete randomised block design was used to compare calcium source in the plot, Al concentration in the sub-plot and genotype the sub-sub-plot. The level of 2 mg/L Al was sufficient to identify tolerant and intolerant genotypes at 48 hours after the beginning of treatment. When Al concentration exceeded 2 mg/L no difference in root growth was found between calcium sources.

*Index terms: Glycine max, aluminium, tolerance, stress, genotype, plant breeding.*

## Introdução

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), nos solos ácidos do Cerrado, (Savanas Brasileiras) tem se tornado realidade desde a década de 1970. Atualmente é o principal produto agrícola da região. Entretanto, a estabilidade na produção de grãos pode ser afetada pela presença de alumínio tóxico (Al) em profundidade no solo. O Al causa distúrbios na divisão celular e no alongamento das raízes, o que ocasiona deficiência na absorção de nutrientes, com reflexo negativo na produção de grãos ([SPEHAR; MAKITA, 1994](#)). Pelo fato de a soja ser uma leguminosa, é necessário que se considere, além dos danos do Al às raízes, sua influência no processo de fixação de nitrogênio. [Munns et al. \(1981\)](#) verificaram nodulação satisfatória em plantas de soja expostas à estresse de Al. Entretanto, [Tanaka \(1989\)](#) observou que o processo de fixação de N é sensível ao Al.

A intolerância ao Al tem importância em situações de estresse hídrico por afetar a estabilidade produtiva. Um maior alongamento das raízes, em solos ácidos e ricos em Al como os do Cerrado permite a exploração de partes mais profundas e mais úmidas do solo, conferindo maior resistência a períodos de falta de chuva ([SPEHAR, 1994a](#); [SPEHAR; MAKITA, 1994](#)).

Em solos com alta concentração de Al, a tarefa de selecionar genótipos desejáveis não é simples, devido à interação entre os elementos minerais do solo. Para se sobrepor às variáveis ambientais não controladas, o uso de cultura hidropônica é sugerido como meio de se quantificar a tolerância da planta a elementos tóxicos, bem como para se observar a eficiência na utilização de nutrientes ([CAMARGO, 1985](#); [SPEHAR; SOUZA, 1999](#)).

As primeiras pesquisas com hidroponia procuraram estabelecer ligação entre testes de campo e de laboratório. [Hanson e Kamprath \(1979\)](#), em trabalho com soja, conseguiram correlação significativa entre dados obtidos em hidroponia e em solo, com alta herdabilidade para tolerância a Al. [Garland et al. \(1990\)](#) elevaram o número de indivíduos por repetição e encontraram correlação entre o comprimento das raízes de plântulas de soja cultivadas em hidroponia e o peso seco das plantas no solo. Em experimento em casa de vegetação, [Spehar \(1989\)](#) utilizou híbridos da geração F1 procedentes de nove variedades de soja, selecionadas previamente em experimento de campo e observou correlação significativa entre testes hidropônicos e de campo. Esses trabalhos indicam a possibilidade de se utilizar o crescimento radicular em solução com Al para melhoramento genético.

Estudos hidropônicos são de fácil execução e permitem que as plântulas selecionadas sejam transplantadas para avanço de geração e futuro teste da progênie. A técnica tem sido aperfeiçoada com a finalidade de avaliar grande número de genótipos para tolerância ao Al em experimentos de curta duração ([FAGERIA; ZIMMERMANN, 1979](#); [FURLANI; CLARK, 1981](#); [FURLANI; HANNA, 1984](#); [SPEHAR; MAKITA, 1994](#); [ANIOL, 1997](#); [SPEHAR; SOUZA, 1999](#)).

[Spehar e Makita \(1994\)](#) avaliaram a tolerância de variedades de soja ao Al em solução nutritiva incompleta. Seu trabalho mostrou que a avaliação do alongamento radicular em curto período tem como vantagens aumentar a eficiência, reduzir o custo e não ser destrutivo. Entretanto, apresenta alguns problemas. Mesmo que se saiba qual o vigor de um lote de sementes, há dificuldade em homogenizá-las. Os testes de curta duração são realizados no período em que as plântulas ainda podem sofrer a influência desse fator e isso confundiria os resultados.

Na presença de quantidades elevadas de alumínio, todas as plantas, independentemente do genótipo, são muito afetadas. Em situação oposta, todas as raízes crescem sem limitação. Em ambos os casos é difícil a identificação de plantas superiores. Daí a necessidade de se definir o nível de Al que possibilite discriminar genótipos tolerantes. O período de exposição deve ser longo o suficiente para isolar o efeito de vigor de semente e capaz de detectar as diferenças, porém, não muito extenso a ponto de comprometer a eficiência dos testes ([MUZILLI; KALCKMANN, 1971](#); [SPEHAR; MAKITA, 1994](#)).

Vários trabalhos, como os de [Sartain e Kamprath \(1978\)](#), [Hanson e Kamprath \(1979\)](#), [Sapra et al. \(1982\)](#) e [Garland et al. \(1990\)](#), mostram que o cálcio (Ca) deve ser adicionado à solução para evitar a desestabilização do pH, acelerar o alongamento radicular e elevar a absorção de Al, por ser elemento muito pouco móvel quanto à redistribuição. Entretanto, a presença de outros elementos, como N, podem interferir nos resultados. Ao se utilizar fontes de cálcio que contenham nitrogênio, pode-se chegar a resultados contraditórios devido ao efeito diferenciado que esse elemento tem sobre diferentes genótipos.

Este trabalho teve por objetivo identificar as condições de cultura (quantidade de Al em solução, período de exposição ao estresse de Al e efeito de diferentes fontes de cálcio) que proporcionam maior magnitude de resposta e que permitam a separação de genótipos de soja quanto à tolerância ao (Al) em hidroponia.



## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em laboratório da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, em 1998. Os genótipos avaliados foram BR86 5974; BR86 7396; BR86 7485; Doko RC; FT Eureka; FT Cristal; FT Cristalina; FT 100; BR 40 (Itiquira); BR 9 (Savana). Os quatro últimos foram identificados como tolerantes ao Al nos testes de [Spehar e Makita \(1994\)](#) e os demais por serem cultivares comerciais ou linhagens do programa de melhoramento de soja da Embrapa.

Separaram-se, ao acaso, dois lotes de 60 sementes por genótipo os quais foram enrolados em papel de filtro embebidos em água para germinar. Com o objetivo de produzir radículas sem dobras, os roletes foram colocados na posição vertical em *bekers* de 1000 mL com 100 mL de água. Cada recipiente foi envolvido por filme plástico para evitar perda de umidade e colocado em germinador sem iluminação e com a temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Depois de 72 horas, os roletes foram retirados do germinador, e as plântulas colocadas em placas de petri de 180 mm de diâmetro, contendo água para serem classificadas de acordo com o tamanho das radículas. Foram desprezadas aquelas cujo comprimento era inferior a 25 mm ou superior a 35 mm. Mediu-se o comprimento radicular de 80 plântulas de cada genótipo e estas foram separadas em grupos de dez que foram transferidos para suportes plásticos flutuantes em água destilada.

Terminada a preparação das plântulas, os suportes foram colocados em tanques plásticos de 256 mm x 316 mm x 115 mm, contendo 5,0 litros das soluções tratamento. Níveis de 0,0, 1,0, 2,0 ou 3,0 mg/L de alumínio (Al), na forma de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Foram aplicados  $16\text{H}_2\text{O}$  em duas soluções contendo 160,0 mg/L de cálcio (Ca), uma na forma de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e outra como  $\text{CaCl}_2$  para avaliar a possível interferência do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na resposta ao Al ([FOY et al., 1992](#)). O pH foi corrigido para 4,0 com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 1 N a cada 24 horas, porque, nesse nível de acidez, aumenta-se a disponibilidade de  $\text{Al}^{+3}$  que é a forma tóxica ([KINRAIDE, 2003](#)).

Os tanques foram cobertos por filme plástico para evitar evaporação excessiva da água e levados para a câmara de crescimento com lâmpadas de comprimento de onda entre 550 e 635 nm, temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 75%. Tubos ligados a um compressor de ar foram mergulhados nas soluções

para fornecimento de oxigênio às raízes e movimentação da solução. As plântulas foram mantidas nessas condições por 72 horas. A cada 24 horas, media-se o comprimento das raízes para determinação do alongamento radicular que foi calculado segundo as equações:

$$AR24 = CI - C24$$

$$AR48 = CI - C48$$

$$AR72 = CI - C72$$

Onde :

AR24 - alongamento radicular após 24 horas de cultura;

CI - comprimento inicial;

C24 - comprimento radicular após 24 horas de cultura;

AR48 - alongamento radicular após 48 horas de cultura;

C48 - comprimento radicular após 48 horas de cultura;

AR72 - alongamento radicular após 72 horas de cultura;

C72 - comprimento radicular após 72 horas de cultura.

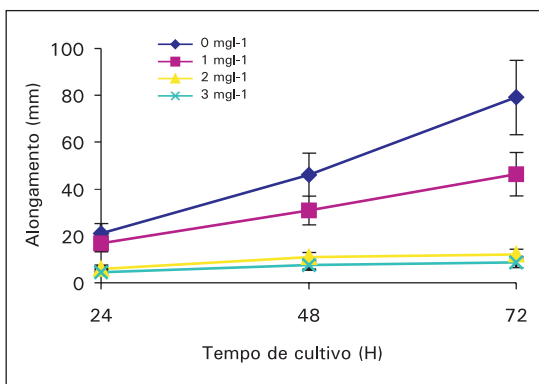
O experimento foi montado no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas subsubdivididas onde, na parcela, foram comparadas as fontes de cálcio (FONTE), nas subparcelas, as concentrações de Al (CON) e, nas subsubparcelas, os genótipos (VARI). Para separação de médias, usou-se o teste Waller Duncan com 5% de significância.

## Resultados e Discussão

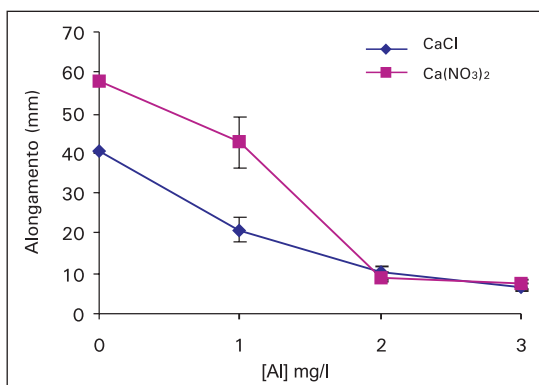
Foram verificadas diferenças significativas de comportamento dos genótipos nas diversas concentrações de Al ao longo do tempo de exposição. A magnitude dos efeitos dos tratamentos aumentou com o tempo e, a partir das 48 h, verificou-se resposta mais consistente dos genótipos. Isso possivelmente se deve a uma diluição do efeito de vigor das plântulas, como encontrado por [Spehar \(1994b\)](#). Na ausência de alumínio (0.0 mg/L) ocorreu o máximo alongamento radicular. Em baixo estresse (1.0 mg/L) o desenvolvimento foi pouco afetado com o passar do tempo. Em níveis mais elevados (2.0 e 3.0 mg/L), as raízes tiveram seu crescimento limitado ([Figura 1](#)).

A presença do nitrato promoveu maior alongamento radicular na ausência de Al (0.0 mg/L) e sob baixo estresse (1.0 mg mg/L) em todos os tempos de exposição ao Al. Em níveis mais elevados de estresse (2.0 e 3.0 mg/L), com o

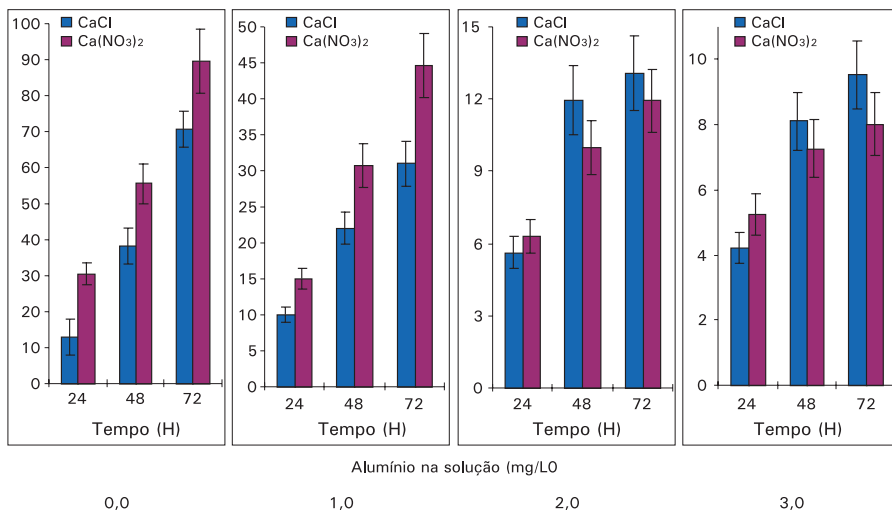
passar do tempo, a diferença entre cloreto e nitrato deixou de ser significativa (Figuras 2 e 3). Os resultados indicam que o Al, em concentrações mais elevadas, interfere na eficiência do metabolismo do nitrogênio e que, nessa situação, o nitrato de cálcio pode ser usado como fonte de Ca sem causar confusão nos resultados.



**Figura 1.** Alongamento radicular de soja em 0,0, 1,0, 2,0 e 3,0 mg/L Al por 24, 48 e 72 horas em hidroponia.



**Figura 2.** Alongamento radicular de soja em solução contendo Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ou CaCl<sub>2</sub> e 0,0, 1,0, 2,0 e 3,0 mg/L Al.



**Figura 3.** Alongamento radicular de soja exposta a soluções contendo 0,0, 1,0, 2,0 e 3,0 mg/L de Al, na presença de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ou CaCl<sub>2</sub> ao longo de 72 horas de tratamento.

Não houve diferença no alongamento radicular dos genótipos em nenhum dos tratamentos na avaliação realizada com 24 horas de exposição, exceto naquele de 2,0 mg/L de Al (Tabela 1). A obtenção de altos coeficientes de variação reforça a hipótese de que, nessa etapa, o vigor diferenciado das sementes pode ter causado confundimento nos resultados. A pequena diferença entre médias no tratamento com 1,0 mg/L de Al após 48 horas tende a ocorrer porque, além de ter oportunidade de crescer com poucas restrições, possíveis efeitos de vigor não detectados tendem a diminuir com o passar do tempo. O estresse de 3,0 mg/L de Al afetou fortemente todos os genótipos e, com o passar do tempo, a separação de médias (Tabela 1) pode ter ocorrido porque a atividade radicular das plantas tolerantes pode ter alterado o pH da rizosfera e, conseqüentemente o efeito do Al (SPEHAR; MAKITA, 1994).

Ainda que o tratamento por 72 h tenha separado melhor os genótipos e produzido dados consistentes, aparentemente sem a interferência do efeito do vigor, as medições após 48 h do tratamento mostraram-se igualmente eficientes, com menor tempo. Sugerem-se 2 mg/L de Al como a concentração mais apropriada para a seleção, porque produziu resultados comparáveis aos obtidos por Spehar e Makita (1994). Alguns genótipos foram qualificados como tolerantes ao Al, o que coincide com os resultados obtidos em testes anteriores. (SPEHAR; MAKITA, 1994; SPEHAR, 1994b). Entretanto, dos quatro genótipos comuns, apenas BR 40 (Itiquira) e BR 9 (Savana) tiveram resultados semelhantes.

**Tabela 1.** Alongamento radicular de genótipos de soja expostos a diferentes concentrações de Al por 24, 48 e 72 horas.

Tempo (h)	Genótipos	Concentração de Al (mg/L)*			
		0,0	1,0	2,0	3,0
24	BR 40 (Itiquira)	21,03 a	19,46 a	8,08 ab	5,50 a
	BR 9 (Savana)	19,00 a	18,05 a	2,64 e	3,90 a
	BR86 5974	23,65 a	22,63 a	5,96 bcd	4,25 a
	BR86 7396	25,38 a	16,08 a	9,34 a	6,21 a
	BR86 7485	21,63 a	17,92 a	5,65 bcde	5,53 a
	FT Cristal	19,40 a	13,20 a	5,20 bcde	3,60 a
	Doko RC	21,88 a	15,53 a	7,16 abc	5,97 a
	FT Cristalina	19,88 a	15,25 a	4,82 cde	4,65 a
	FT Eureka	25,42 a	18,50 a	3,86 de	4,25 a
	FT 100	18,88 a	16,18 a	4,96 cde	3,58 a
	CV	41,44	44,19	30,86	24,77
48	BR 40 (Itiquira)	46,25 a	42,96 a	13,73 ab	8,60 b
	BR 9 (Savana)	38,50 a	34,18 ab	6,48 c	6,00 b
	BR86 5974	55,00 a	39,47 ab	9,98 bc	6,88 b
	BR86 7396	57,00 a	34,71 ab	19,65 a	10,96 a
	BR86 7485	52,95 a	31,00 ab	10,70 bc	7,20 b
	FT Cristal	40,80 a	20,35 b	9,10 bc	5,60 b
	Doko RC	43,25 a	24,73 ab	13,00 abc	11,03 a
	FT Cristalina	37,50 a	24,21 ab	9,23 bc	8,03 b
	FT Eureka	53,54 a	34,35 ab	7,53 bc	6,75 b
	FT 100	43,25 a	29,25 ab	10,40 bc	5,85 b
	CV	17,80	29,77	26,26	14,68
72	BR 40 (Itiquira)	74,38 abc	60,25 a	13,95 ab	8,60 bc
	BR 9 (Savana)	62,50 c	49,35 ab	7,40 b	7,80 c
	BR86 5974	99,33 a	60,43 a	11,23 ab	8,63 bc
	BR86 7396	93,63 ab	62,08 a	19,68 a	12,96 a
	BR86 7485	83,96 abc	45,17 ab	13,10 ab	8,53 bc
	FT Cristal	73,90 abc	28,48 b	10,30 b	7,50 c
	Doko RC	70,48 abc	38,73 ab	14,25 ab	11,20 b
	FT Cristalina	64,75 bc	37,08 ab	10,43 ab	9,08 bc
	FT Eureka	98,63 a	48,98 ab	10,15 b	7,75 bc
	FT 100	80,38 abc	42,95 ab	12,10 ab	6,70 c
	CV	15,02	35,72	28,51	12,62

\* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem (Waller Duncan,  $p = 0,05$ ).

A presença de plantas com desempenho superior à média, independentemente do genótipo, sugere que existe variação genética para tolerância ao Al, possivelmente, atribuída a genes responsáveis pela produção de ácidos orgânicos que quelatizam o elemento (MA et al., 2004). Essas diferenças podem ser usadas em programas de melhoramento que visem à tolerância ao Al.

## Conclusão

A avaliação em hidroponia é eficiente para identificação de diferentes níveis de tolerância ao alumínio em genótipos de soja. O método tem sua maior eficiência quando os genótipos são expostos a 2 mg/L de Al, por 48 horas, independentemente, da presença ou não de nitrogênio na fonte de cálcio.

## Referências Bibliográficas

ANIOL, A. The resistance of root apical meristem to Al-injury of as a criterium of Al tolerance in cereals. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT RESPONSES TO IONIC STRESS: ALUMINIUM AND OTHER IONS, 1997, Kurashiki, Japan. **Program and abstracts**. [S.l.: s.n., 1997]. p. 18-19.

CAMARGO, C. E. O. Effect of phosphorus in nutrient solution on the tolerance to aluminum toxicity in wheat cultivar. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 40, p. 21-31, 1985.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. Seleção de cultivares de arroz para tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 254-269, 1979.

FOY, C. D.; DUKE, J. A.; DEVINE, T. E. Tolerance of soybean germplasm to an acid tatum subsoil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 5, p. 527-547, 1992.

FURLANI, P. R.; CLARK, R. B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solution. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, n. 4, p. 587-594, 1981.

FURLANI, P. R.; HANNA, R. B. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 205-208, 1984.

GARLAND, M. L.; CAMPBELL, K. A.; CARTER JUNIOR, T. E. Aluminum tolerance in soybean: genotypic correlation and repeatability of solution culture and greenhouse screening methods. **Crop Science**, Madison, v. 30, p. 1049-1054, 1990.

HANSON, W. D.; KAMPRATH, E. J. Selection for aluminum tolerance in soybean based on seedling root growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 581-586, 1979.

KINRAIDE, T. B. Toxicity factors in acidic forest soils: attempts to evaluate separately the toxic effects of excessive  $Al^{3+}$  and  $H^{+}$  and insufficient  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  upon root elongation, **European Journal of Soil Science**, v. 54, p. 323-333, 2003.

MA, J. F.; NAGAO, S.; SATO, K.; ITO, H.; FURUKAWA, J.; TAKEDA, K. Molecular mapping of a gene responsible for Al-activated secretion of citrate in barley. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 401, p. 1335-1341, 2004.

MUNNS, D. N.; HOLEMBERG, J. S.; RIGHETTI, T. L.; LAUTER, D. J. Soil acidity tolerance of symbiotic and nitrogen fertilized soybeans *Glycine max*. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, n. 3, p. 467-410, 1981.

MUZILLI, O.; KALCKMANN, R. E. Análise de assistência-interpretação de resultados e determinação de níveis críticos. I. Determinação de níveis críticos de acidez. **Boletim da Universidade Federal do Paraná, Agronomia**, Curitiba, n. 1, p. 15-23, 1971.

SAPRA, V. T.; MEBRAHTU, T.; MUGWIRA, L. M. Soybean germplasm and cultivar aluminum tolerance in nutrient solution and bladen clay loam soil. **Agronomy Journal**, Medison, v. 74, p. 687-690, 1982.

SARTAIN, K. B.; KAMPRATH, E. J. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 17-20, 1978.

SPEHAR, C. R. Aluminium tolerance of soya bean genotypes in short term experiments. **Euphytica**, Wageningen, v. 76, p. 73-80, 1994a.

SPEHAR, C. R. Breeding soybeans to the low latitudes of Brazilian Cerrados (savannahs). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1167-1180, 1994b.

SPEHAR, C. R. **The genetics of aluminium tolerance in soya beans (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 1989. 123 p. Thesis (Ph.D.) - University of Cambridge, Cambridge.

SPEHAR, C. R.; MAKITA, M. Tolerância ao alumínio em plântulas de soja e sua utilização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 12, p. 1927-1932, 1994.

SPEHAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Selecting soybean (*Glycine max* L. Merrill) tolerant to low-calcium stress in short term hydroponics experiment. **Euphytica**, Wageningen, v. 106, p. 35-38, 1999.

TANAKA, A. **Solos ácidos e seus usos agrícolas: situação e futuro nos trópicos**. [S.l.]: Hakuyu, 1989.