

# COMPORTAMENTO DIFERENCIAL DAS ESPÉCIES FLORESTAIS CÁSSIA-VERRUGOSA (*Senna multijuga* (L.C. RICH.) I. & B.) E IPÊ-MIRIM (*Tecoma stans* H.B.K.) NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO<sup>1</sup>

ROGÉRIO MAURO MACHADO ALVES<sup>2</sup>  
LUIZ EDSON MOTA DE OLIVEIRA<sup>3</sup>  
ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO<sup>4</sup>  
NELSON DELÚ FILHO<sup>5</sup>

**RESUMO** – Com o presente trabalho objetivou-se avaliar a tolerância diferencial ao alumínio das espécies florestais cássia-verrugosa (*Senna multijuga* (L.C. Rich.) I. & B.) e ipê-mirim (*Tecoma stans* H. B. K.). Conduziu-se o experimento em casa-de-vegetação, sendo as plantas cultivadas em solução nutritiva, em quatro concentrações de Al<sup>+3</sup>: 0, 5; 10 e 20 mg/L. Constatou-se que as espécies florestais são sensíveis ao íon em diferentes graus e que as plantas de cássia apresentaram

sintomas de toxicidade detectados na massa seca (total e de seus órgãos), área foliar, no volume e comprimento radicular, ao passo que as plantas de ipê-mirim mostraram maior tolerância, por não apresentarem alterações significativas para as características acima até a concentração de 10 mg/L. Esse comportamento diferencial sugere que o ipê-mirim é uma espécie mais adaptada a solos de cerrado do que a cássia-verrugosa.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** Espécie florestal, cássia-verrugosa, ipê-mirim, tolerância ao alumínio, solução nutritiva, estresse iônico, *Senna multijuga*, *Tecoma stans*.

## DIFFERENTIAL GROWTH OF THE FOREST SPECIES CÁSSIA-VERRUGOSA (*Senna multijuga* (L.C. RICH.) I. & B.) AND IPÊ-MIRIM (*Tecoma stans* H.B.K.) IN THE PRESENCE OF ALUMINUM

**ABSTRACT** - The present work aimed to evaluate aluminum differential tolerance of the forest species Cássia-verrugosa (*Senna multijuga* (L.C.Rich.) I. & B.) and Ipê-mirim (*Tecoma stans* H. B. K.). The experiment was carried out in greenhouse and the plants were cultivated in nutrient solution containing AL<sup>+3</sup> in four concentrations: 0; 5; 10 and 20 mg/L. It was verified that the forest species are sensitive to that ion in different

levels and that cassia plants showed more toxicity symptoms, observed in dry matter (total and its organs), leaf area, and root volume and length, than ipê-mirim plants. These were more tolerant, showing significative alterations for the studied characteristics only at concentration above 10 mg/L. This differential behavior indicates that ipê-mirim could be a more adapted specie to cerrado soils under than cassia verrugosa.

**INDEX TERMS:** Forest species, cássia-verrugosa, ipê-mirim, aluminum tolerance, nutritive solution, ionic stress, *Senna multijuga*, *Tecoma stans*.

- 
1. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal/UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA), Caixa Postal 37 – 37200.000 – Lavras, MG. Financiado pela UFLA, CAPES e CNPq.
  2. Engenheiro Agrônomo, MSc., Pesquisador da EMBRAPA/AMAPÁ, 68902.280 – Macapá/AP, Caixa Postal 10.
  3. Engenheiro Agrônomo, DSc., Professor Titular do Departamento de Biologia da UFLA. E-mail: ledson @ufla.br
  4. Engenheiro Agrônomo, DSc., Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.
  5. Engenheiro Agrônomo, DSc., Professor Visitante do Departamento de Biologia da UFLA.

## INTRODUÇÃO

A toxicidade causada pelo alumínio é importante fator limitante do crescimento vegetal, ocorrendo em solos ácidos com valores de pH inferiores a 5,0 (Foy *et al.* 1978; Foy, 1984; Kochian, 1995; Furtini Neto *et al.*, 1999a,b).

Sabe-se que, em geral, o alumínio pode interferir na divisão celular das raízes, fixar o fósforo em formas menos disponíveis no solo e/ou nas raízes, diminuir a respiração radicular, interferir em enzimas que governam a deposição de polissacarídeos nas paredes celulares, bem como causar o aumento da rigidez dessas, além de interferir na absorção, no transporte e na utilização de muitos elementos, tais como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e água (Foy *et al.*, 1978; Kochian, 1995).

Ao contrário das culturas alimentícias anuais (Gonzales *et al.*, 1976; Furlani & Clark, 1981; Aniol, 1984; Diniz & Calbo, 1990; Cambraia *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 1992; Huang *et al.*, 1992; Basu *et al.*, 1994; Baligar *et al.*, 1995; Jan & Pettersson, 1995), as espécies florestais não são contempladas na literatura com grande número de relatos sobre seu comportamento frente ao alumínio. Algumas exceções são os trabalhos de Sousa (1991) com seringueira, Fráguas (1993) com videira; Vale *et al.* (1996), Furtini Neto *et al.* (1999a,b), que encontraram grande amplitude de resposta ao alumínio trocável do solo entre diversas espécies florestais nativas da região de cerrados. Dentre as espécies estudadas nesse trabalho, encontram-se a *Senna multijuga* e *Tecoma stans*, que segundo aqueles autores, apresentaram sensibilidade ao alumínio, porém, o ipê-mirim externou mais fortemente os efeitos da toxicidade ao íon do que a cássia.

Inúmeros autores têm relatado como primeiros sintomas observados da toxicidade por alumínio aqueles relacionados à diminuição do crescimento das raízes (Sampson, 1965; Gonzales *et al.*, 1976; Furlani & Clark, 1981; Aniol, 1984; Oliveira & Rena, 1989; Diniz & Calbo, 1990; Millard *et al.*, 1990; Cambraia *et al.*, 1991; Fráguas, 1993; Baligar *et al.*, 1995; Jan & Pettersson, 1995), que se apresentaram mais curtas e grossas, tornando-se quebradiças e com extremidades escuras, quando expostas ao alumínio (Foy 1976; Oliveira & Rena, 1989; Diniz & Calbo, 1990). A presença do alumínio no meio de cultivo impede que ocorra aumento no tamanho e no número das células (Cambraia *et al.*, 1991), o que é especulado como sendo consequência da ligação do íon ao DNA nuclear, o que resultaria em decréscimo na sua atividade (Cambraia *et al.*, 1991; Alvarenga *et al.*, 1980).

A principal limitação imposta pelo alumínio como cátion trocável, principalmente nos solos de cerrado, é a sua presença em profundidades maiores, abaixo da camada arável. Em consequência, as plantas injuriadas por esse metal têm prejudicado tanto a absorção, como o transporte e o metabolismo de diversos elementos, assim como a absorção da água (Olmos & Camargo, 1976; Foy *et al.*, 1978; Ramalho *et al.*, 1982; Araújo *et al.*, 1992; Wheeler *et al.*, 1992a,b; Kochian, 1995; Moustakas *et al.*, 1995).

A sintomatologia da toxicidade de alumínio na parte aérea é de difícil identificação, nas diferentes espécies (Foy, 1976). Em algumas, os sintomas assemelham-se àqueles de deficiência de fósforo, tais como a redução no crescimento de folhas, arroxamento de caule, folhas e nervuras, amarelecimento e morte do ápice foliar (Foy, 1976), pecíolos com coloração púrpura mais intensa e lâminas foliares com coloração verde mais escura (Oliveira e Rena, 1989). Em outras espécies, as plantas podem apresentar sintomas de deficiência de cálcio ou problemas na sua translocação, notando-se o enrolamento ou o encurvamento de folhas novas e colapso dos pontos de crescimento ou pecíolos (Foy, 1976), surgimento de manchas brancas translúcidas nas folhas recém-formadas (Oliveira e Rena, 1989). Os sintomas podem, ainda, assemelham-se aos de deficiência de nitrogênio, caracterizados pelo amarelecimento de folhas velhas (Jarvis & Hatch, 1987).

Muito se tem estudado a respeito dos mecanismos fisiológicos da tolerância ao alumínio em plantas e diversos mecanismos têm sido propostos para tentar explicar a tolerância apresentada por algumas plantas ao excesso do metal. É sabido que o alumínio não é um elemento essencial ao crescimento vegetal, pois não preenche nenhum dos critérios de essencialidade. Entretanto, sob condições especiais, tais como baixas concentrações do íon no meio de cultivo, ele pode induzir o aumento no crescimento vegetal e até produzir outros efeitos desejáveis (Foy *et al.*, 1978).

Em síntese, as diferentes espécies vegetais e mesmo diferentes genótipos dentro de uma mesma espécie podem apresentar variados mecanismos fisiológicos determinantes do comportamento diferencial diante do alumínio, adquiridos ao longo do processo evolutivo.

No presente trabalho estudaram-se algumas características do crescimento das espécies florestais cássia-verrugosa e ipê-mirim, cultivadas em diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas neste experimento as espécies florestais cássia-verrugosa (*Senna multijuga*) e ipê-mirim (*Tecoma stans*), que estão sendo utilizadas em projetos de revegetação na represa hidroelétrica de Camargos, município de Itutinga-MG, em solos caracteristicamente de campo cerrado. As sementes foram fornecidas pelo Laboratório de Sementes Florestais do Departamento de Floresta da Universidade Federal de Lavras, coletadas na região de Lavras, procedentes de árvores nativas.

A semeadura foi efetuada em caixas plásticas contendo areia lavada com água deionizada. Esses germinadores foram mantidos em sala de crescimento do Laboratório de Ecofisiologia e Propagação de Plantas do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, em fotoperíodo de 12 horas.

O transplante para vasos contendo solução nutritiva em casa-de-vegetação ocorreu aos 30 dias após a semeadura. Durante esse período, a temperatura da

sala de crescimento foi de  $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa do ar de  $70 \pm 10\%$ . As mudas foram retiradas cuidadosamente dos germinadores, evitando-se injúrias aos seus sistemas radiculares. Procedeu-se à seleção quanto a uniformidade em altura e comprimento do sistema radicular das plantas.

As plantas selecionadas foram colocadas em vasos de plástico contendo 2,825 L de solução nutritiva de Bolle-Jones (1957), modificada por Sousa (1991) (Tabela 1), sendo utilizados 25 vasos para cada espécie, com 4 plantas cada uma. Os vasos foram tampados com isopor contendo perfurações de 1 cm de diâmetro, sendo as plantas fixadas com espumas e cultivadas nessa solução nutritiva por 20 dias.

Diariamente foram retiradas alíquotas da solução nutritiva de cada vaso para correção dos teores de alumínio e fósforo, sendo esse ânion mantido sempre à concentração de 2 mg/L (Sousa, 1991).

**TABELA 1** – Composição da solução nutritiva de Bolle-Jones (adaptada por Sousa, 1991).

FONTE	ELEMENTO	CONCENTRAÇÃO (em mg/L)
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	42
	N-NO <sub>3</sub>	42
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	K	2,51
	P	2
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K	39
	S	16
CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	Ca	40
	S	32
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Mg	15
	S	19,76
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	B	0,0117
CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O	Cu	0,063
	S	0,032
MnCl <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	Mn	1,098
	Cl	1,42
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> 4H <sub>2</sub> O	Mo	0,029
ZnSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Zn	0,065
	S	0,032
Fe-EDTA	Fe	0,022

Aos vinte dias após transplante, as plantas foram submetidas às seguintes concentrações de alumínio: 0; 5; 10 e 20 mg/L de  $Al^{3+}$ .

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 tratamentos (concentrações de alumínio) e 5 repetições (blocos), sendo cada repetição constituída de 4 plantas.

Durante o período experimental (novembro e dezembro), as temperaturas mínimas médias e máximas médias foram de  $17,8 \pm 2^{\circ}C$  e  $32,9 \pm 3^{\circ}C$ , respectivamente.

Vinte dias após a aplicação dos tratamentos, procedeu-se à coleta das plantas, sendo as mesmas separadas em raízes, caules e folhas (lâminas foliares + pecíolos), a fim de se efetuar as medições pertinentes. Com as raízes, procederam-se às determinações do volume, comprimento e peso de sua massa seca. Foram avaliadas também a massa seca de caules e folhas e área foliar total, pelo método dos discos foliares (Pinto *et al.*, 1979). O material vegetal foi desidratado até peso constante em estufas de circulação de ar forçado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de permitir a comparação entre os resultados obtidos para as espécies estudadas neste trabalho, os dados originais de cada tratamento foram transformados em porcentagem em relação ao controle, tendo sido atribuído a esse tratamento o valor de 100%.

Na Figura 1 são apresentados os resultados de massa seca total e das diferentes partes das plantas de *cássia-verrugosa* e *ipê-mirim* cultivadas em diferentes concentrações de alumínio. Nota-se pela Figura 1A que a presença do alumínio no meio de cultivo provocou significativa redução na produção de massa seca total para *cássia-verrugosa*, embora para o *ipê-mirim* a produção de matéria seca foi significativamente afetada apenas na concentração de 20 mg/L. Especificamente para a produção massa seca da parte aérea, percebe-se que as plantas de *ipê-mirim* apresentaram alterações significativas apenas na concentração de 20 mg/L de alumínio, ao passo que para as plantas de *cássia-verrugosa*, a presença do cátion no meio de cultivo provocou reduções significativas para essa característica, e na maior concentração foi observada uma redução de 59% em relação ao controle, apesar de esse valor estar bem próximo daquele obtido para as plantas de *ipê-mirim* (Figura 1B). Comportamento semelhante foi obtido para as características massa seca do caule (Figura 1C) e das folhas (Figura 1E) para as plantas de *ipê-mirim* e *cássia-verrugosa*, e para massa

seca da raiz (Figura 1D), apenas para as plantas de *ipê-mirim*.

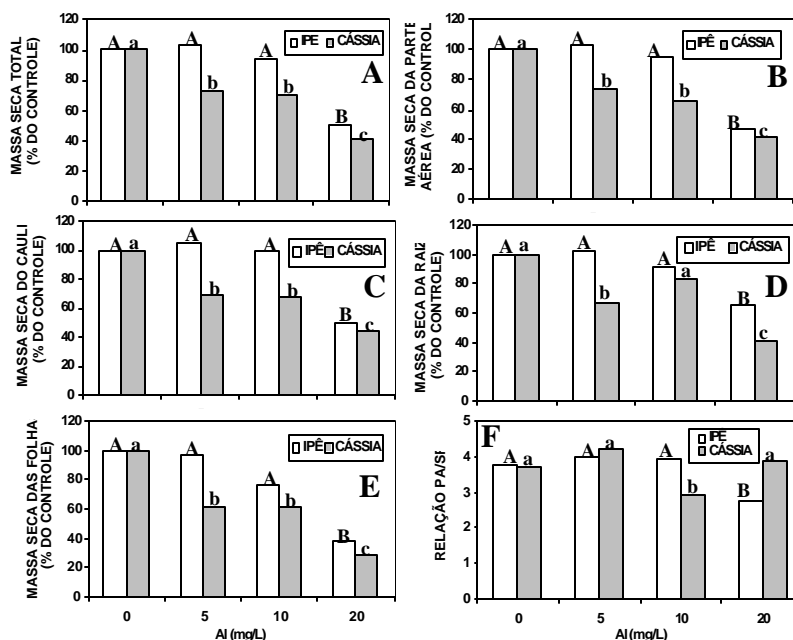
Resultados semelhantes foram obtidos por outros pesquisadores (Oliveira e Rena, 1989; Rengel & Robinsosn, 1989), embora Sousa (1991) não tenha verificado efeito negativo do alumínio em plantas de *seringueira* com relação à produção de massa seca total.

Com relação à massa seca do sistema radicular (Figura 1D), as plantas de *ipê-mirim* apresentaram redução significativa apenas na concentração de 20 mg/L, enquanto as plantas de *cássia-verrugosa* apresentaram redução nas concentrações de 5 e 20 mg/L de alumínio, mas na concentração de 10 mg/L, o comportamento foi semelhante ao controle. Assim, esses dados confirmam aqueles previamente relatados na literatura (Rengel, 1990) de que a restrição ao desenvolvimento radicular seria a responsável por decréscimos no rendimento da parte aérea, como evidenciaram Delú-Filho *et al.* (1989) para plantas jovens de *seringueira*. Como pode ser notado na Figura 1 A, as plantas de *cássia-verrugosa* apresentaram uma redução no acúmulo de massa seca total nas concentrações de 5 mg/L e 20 mg/L de alumínio de 27% e 58,9%, respectivamente, sendo tal redução acompanhada por decréscimos na fitomassa seca da parte aérea e de todos os seus componentes em princípio, esses resultados indicam uma possível maior tolerância da espécie *ipê-mirim* em relação à *cássia-verrugosa*.

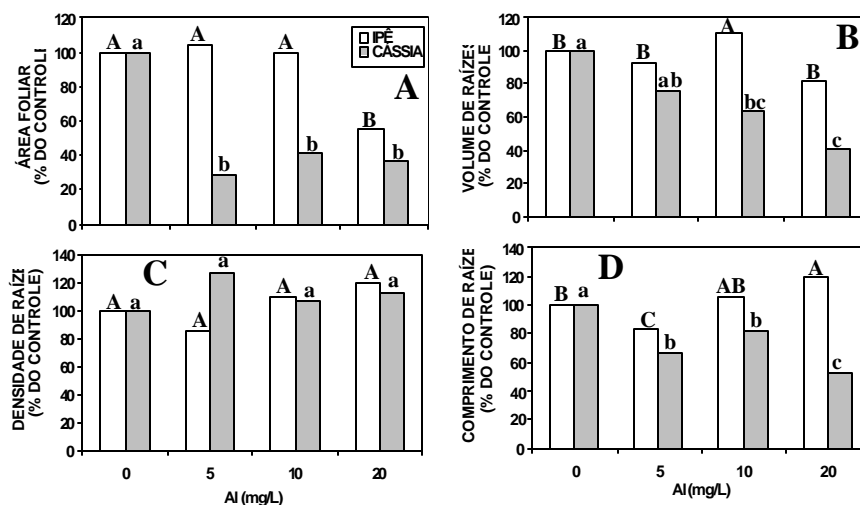
Para a relação massa seca da parte aérea/massa seca do sistema radicular (Figura 1F), as plantas de *ipê-mirim* apresentaram significativa redução nessa relação somente na maior concentração de alumínio, ao passo que as plantas de *cássia-verrugosa* apresentaram uma tendência de aumentar essa relação quando comparadas às plantas-controle, com exceção das plantas cultivadas na concentração de 10 mg/L, que apresentaram redução significativa nesse parâmetro em relação a todos os demais tratamentos.

Observa-se na Figura 2A que a presença de alumínio reduziu drasticamente a área foliar das plantas de *cássia-verrugosa*, independentemente da concentração desse cátion no meio de cultivo, enquanto as plantas de *ipê-mirim* tiveram sua área foliar significativamente reduzida apenas na concentração de 20 mg/L. Analisando conjuntamente as Figuras 1B, 1E e 2A, nota-se que a redução na massa seca das folhas das plantas de *cássia-verrugosa* é proporcionalmente maior que a redução na massa seca da raiz, quando as plantas foram cultivadas na presença do alumínio, o que

propiciou uma maior relação entre a massa seca da parte aérea e do sistema radicular (Figura 1F).



**FIGURA 1** – Distribuição percentual da produção de massa seca total (A), da parte aérea (B), do caule (C), da raiz (D), da folha (E) e relação entre massa seca da parte aérea e da raiz (F) de plantas de ipê-mirim e cássia-verrugosa cultivadas em diferentes concentrações de alumínio. Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada espécie, não diferem entre si (Tukey 5%).



**FIGURA 2** – Área foliar (A), volume da raízes (B), densidade da raízes (C) e comprimento de raízes de plantas de ipê-mirim e cássia-verrugosa cultivadas em diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva. Médias seguidas

por letras iguais dentro de cada espécie não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A legenda da Figura A é representativa para as Figuras B, C e D.

O ipê-mirim apresentou um comportamento diferenciado e desejado quanto ao comprimento do sistema radicular, para as condições deste experimento. A partir de 10 mg/L, a raiz foi alongada no comprimento, com relação à testemunha e ao tratamento com 5 mg/L de Al, comportamento importante da espécie, possibilitando a busca e absorção de água e nutrientes a profundidades maiores no solo. Por outro lado, a cássia-verrugosa não apresentou o mesmo comportamento quanto à elongação da raiz na presença do alumínio.

Pelo presente estudo, utilizando as duas espécies florestais, infere-se serem ambas as espécies susceptíveis aos efeitos do íon alumínio, porém em graus diferentes. A cássia-verrugosa apresentou sintomas de toxicidade a partir da concentração de 5 mg/L de alumínio no meio, ao passo que o Ipê tolerou a presença do íon até pelo menos 10 mg/L, conforme constatado nos valores de quase todos os indicadores de acúmulo de massa seca por essa espécie.

Pelos resultados deste experimento, verifica-se que o ipê-mirim deve ser uma espécie com maior tolerância ao alumínio do que a cássia-verrugosa. No entanto, estudos complementares deverão ser realizados para confirmar os resultados, principalmente utilizando-se plantas mais desenvolvidas.

### CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que as espécies estudadas apresentaram sensibilidade diferencial ao íon alumínio, nas condições do experimento, e as plantas de cássia-verrugosa foram mais sensíveis aos efeitos fitotóxicos do que as plantas de ipê-mirim, cultivadas nas mesmas condições.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, A.A. de; CALBO, A.G.; NEIVA, L.C. da S.; MULLER, M.W. Influência de fitoreguladores sobre a ação tóxica do alumínio em *Stylosanthes humiles* H.B.K. **Ciência e Prática**, Lavras, v.4, n.1, p.31-37, jan./jun. 1980.

ANIOL, A. Induction of Aluminum tolerance in wheat seedlings by low closes of Aluminum in the nutrient solution. **Plant Physiology**, Washington, v.75, n.2, p.551-555, May 1984.

ARAÚJO, J.M. de; SANTOS, J.B. dos; RAMALHO, M.A.R.; GUEDES, G.A.A. Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às condições dos solos sob vegetação de cerrado. **Ciência e Prática**, Lavras, v.16, n.2, p.189-196, abr./jun. 1992.

BALIGAR, V.C.; ANGHINONI, I.; PITTA, G.V.E.; SANTOS, H.L. dos; CUNHA FILHO, E.; SCHAFFERT, R.E. Aluminum effects on plant and nutrient uptake parameters of soil and solution grown sorghum genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.11, p.2325-2328, Nov. 1995.

BASU, A.; BASU, U.; TAYLOR, G.J. Induction of microsomal membrane proteins in roots of an aluminum-resistant cultivar of *Triticum aestivum* L. under conditions of aluminum stress. **Plant Physiology**, Washington, v.104, n.3, p.1007-1013, Mar. 1994.

BOLLE-JONES, E.W. Cooper, its effects on the growth of the rubber plant (*Hevea brasiliensis*). **Plant and Soil**, Netherlands, v.10, n.2, p.168-178, Feb. 1957.

CAMBRAIA, J.; SILVA, M.A. da; CANO, M.A.O., SANT'ANNA, R. Método simples para a avaliação de cultivares de sorgo quanto a tolerância ao alumínio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos, v.3, n.2, p.87-95, dez. 1991

DELÚ-FILHO, N.; OLIVEIRA, L.E.M.; ALVARENGA, A.A.; GOMIDE, M.B. Seleção de genótipos de seringueira tolerantes ao alumínio. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE LATINO AMERICANA DE FIOLOGIA VEGETAL, 10, 1989, Puerto Iguazu. **Anais...** Puerto Iguazu: SLAV, 1989. p.61.

DINIZ, V.P.M. de; CALBO, M.E.R. Efeitos da aplicação foliar de fósforo sobre a toxidez de alumínio em plantas de tomate. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos, v.2, n.2, p.57-61, 1990.

FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. **Ciência e Cultura**, Brasília, v.28, n.2, p.150-155, fev. 1976.

FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminium, and manganese toxicities in acid soil. In:

- ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1984. p.57-97.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.29, p.511-566, 1978.
- FRÁGUAS, J.C. Efeito do alumínio no comprimento de raízes e na absorção de fósforo e cálcio em porta-enxertos de videira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.251-255, maio/ago. 1993.
- FURLANI, P.R.; CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, n.4, p.587-594, July/Aug. 1981.
- FURTINI NETO, A.E., RESENDE, A.V., VALE, F.R., FAQUIN, V., FERNANDES, L.A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Revista Cerne**, Lavras, v.5, n.2, p.1-12, 1999a.
- FURTINI NETO, A.E., RESENDE, A.V., VALE, F.R., SILVA, I.R. Liming effects on growth of native woody species from Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.829-837, maio 1999b.
- GONZALES, E.; WOLF, J.M.; SOARES, M.W.V.; GALENO, E. Relações entre toxidez de alumínio, desenvolvimento de raízes, absorção de água e produção de milho no oxisol (latosol vermelho escuro) do Distrito Federal. **Ciência e Cultura**, Brasília, v.28, n.2, p.181-182, fev. 1976.
- HUANG, J.W.; SHAFF, J.E.; GRUNES, D.L.; KOCHIAN, L.V. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. **Plant Physiology**, Washington, v.98, n.1, p.230-237, Jan. 1992.
- JAN, F.; PETERSSON, S. Aluminium sensitivity of two upland rice cultivars at various levels on nutrient supply. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 6, p.1323-1335, June 1995.
- JARVIS, S.C.; HATCH, D.J. Differential effects of low concentrations of aluminium on the growth of four genotypes of white clover. **Plant and Soil**, The Hague, v.99, n.1, p.241-253, May 1987.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.46, p.237-260, 1995.
- MILLARD, M.M.; FOY, C.D.; CORADETTI, C.A.; REINSEL, M.D. X-Ray photoelectron spectroscopy surface analysis of aluminum ion stress in barley roots. **Plant Physiology**, Washington, v.93, n.2, p.578-583, June 1990.
- MOUSTAKAS, M.; OUZOUNIDOU, G.; LANNI, R. Aluminum effects on photosynthesis and elemental uptake in an aluminum-tolerant and non-tolerant wheat cultivar. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.4, p.669-683, Apr. 1995.
- OLIVEIRA, L.E.M de; RENA, A.B. Influência do alumínio sobre o comportamento nutricional de cultivares de mandioca em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.9, p.1119-1230, set. 1989.
- OLMOS, I.L.J.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, Brasília, v.28, n.2, p.171-180, fev. 1976.
- PINTO, A.C.Q.; HOSTALÁCIO, S.; GOMIDE, M.B.; OLIVEIRA, L.E.M. Comparação de métodos de determinação da área foliar na cultura da goiabeira (*Psidium gajava* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v.3, n.1, p.58-62, jan./jun. 1979.
- RAMALHO, M.A.P.; PINTO, C.A.B.P.; CARVALHO, M.A. de. Tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a níveis de saturação de alumínio, em solo sob vegetação de cerrado. **Ciência e Prática**, Lavras, v.6, n.1, p.55-62, jan./jun. 1982.
- RENGEL, Z. Competitive  $Al^{+3}$  inhibition of net  $Mg^{+2}$  uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. II. Plant age effects. **Plant Physiology**, Washington, v.93, n.3, p.1261-1267, July 1990.
- RENGEL, Z.; ROBINSON, D.L. Aluminum effects on growth and macronutrient uptake by annual ryegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.2, p.208-215, Mar./Apr. 1989.

SAMPSON, M.; CLARKSON, D.; DAVIES, D.D. DNA synthesis in aluminum-treated roots of barley. **Science**, Washington, v.148, n.3675, p.1476-1477, June 1965.

SOUSA, C.A.F. de. **Influência do alumínio na mobilização de reservas, nutrição mineral e crescimento de plântulas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)**. Lavras: ESAL, 1991. 120 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

VALE, F.R. do; FURTINI NETO, A.E.; RENÓ, N.B.; FERNANDES, L.A.; RESENDE, AV. de. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesquisa**

**Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.9, p.609-616, set. 1996.

WHEELER, D.M.; EDMEADES, D.C.; CHRISTIE, R.A. Effect of aluminum on plant chemical concentration in some temperate grasses grown in solution culture at low ionic strength. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, n.4, p.387-402, Apr. 1992a.

WHEELER, D.M.; EDMEADES, D.C.; SMITH, D.R., WEDDERBURN, M.E. Screening perennial rye-grass from New Zeland for aluminum tolerance. **Plant and Soil**, The Hague, v.146, n.1/2, p.9-19, Oct. 1992b.