



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

ALMEIDA, A. A. S.; MONTEIRO, F. A.; JANK, L.
AVALIAÇÃO DE *Panicum maximum* JACQ. PARA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO
NUTRITIVA

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 24, núm. 2, 2000, pp. 339-344

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218304012>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

AVALIAÇÃO DE *Panicum maximum* JACQ. PARA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA⁽¹⁾

A. A. S. ALMEIDA⁽²⁾, F. A. MONTEIRO⁽³⁾ & L. JANK⁽⁴⁾

RESUMO

Em condições controladas de temperatura, umidade e iluminação, 30 genótipos de *Panicum maximum* foram avaliados para a verificação de tolerância às doses de alumínio de 0, 12 e 24 mg L⁻¹ em solução nutritiva. Os efeitos do alumínio na inibição do alongamento radicular e no índice de tolerância possibilitaram a estratificação dos genótipos em três categorias: tolerantes, intermediários e sensíveis. A maior parte dos genótipos apresentou de média a baixa tolerância ao alumínio, destacando-se, como os mais tolerantes, os genótipos K191, T95, T84, T91 e Centenário e, como os mais sensíveis, os genótipos Centauro, K68, K214 e T46.

Termos de indexação: toxidez ao alumínio, gramínea forrageira, estresse mineral.

SUMMARY: ALUMINUM TOLERANCE IN *Panicum maximum*

Thirty *Panicum maximum* Jacq. genotypes were screened for aluminum tolerance at aluminum rates 0, 12 e 24 mg L⁻¹ in nutrient solution. The effects of the aluminum in Al-induced inhibition of root elongation and Al-tolerance index allowed classification into three different Al tolerance groups: tolerant, medium and sensitive. Most of the genotypes presented moderate even low tolerance to aluminum toxicity, although K191, T95, T84, T91, Centenário were Al-tolerant and Centauro, K68, K214, T46 were Al-sensitive genotypes.

Index terms: aluminum toxicity, forage grasses, mineral stress.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Trabalho apresentado no FertBio98, Caxambu (MG), de 11 a 16 de outubro de 1998. Recebido para publicação em dezembro de 1997 e aprovado em abril de 2000.

⁽²⁾ Professora do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté - Unitau. Rua Quatro de março, 432 CEP 12020-270 Taubaté (SP). Bolsista CAPES. E-mail: anasilva@prppg.unitau.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas - ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista CNPq.

⁽⁴⁾ Pesquisadora do Centro Nacional de Gado de Corte (CNPq) EMBRAPA. Caixa Postal 154, CEP 79106-970 Campo Grande (MS).

INTRODUÇÃO

Os solos ácidos abrangem 30% das terras livres de gelo e 40% das terras agricultáveis no mundo, localizando-se, predominantemente, nas regiões tropicais e subtropicais (Osmond et al., 1980; Von Uexküll & Mutert, 1995). Na América do Sul, existem, aproximadamente, 500 milhões de hectares de Oxisolos e Ultissolos que são subutilizados em razão da extrema acidez, reduzida fertilidade e alta saturação do complexo de troca por alumínio e manganês. Frequentemente, nesses solos, a elevada saturação por alumínio atinge níveis que resultam em toxidez nas plantas (Fageria, 1982).

Há mais de oitenta anos, a toxidez do alumínio vem sendo apontada como o principal fator limitante do crescimento vegetal em solos ácidos (Hartwell & Pember, 1918; Magistad, 1925). O efeito nocivo do excesso de alumínio para as plantas é bem conhecido (Foy et al., 1978; Carver & Ownby, 1995; Kochian, 1995); no entanto, estudos mais elucidativos sobre aspectos fisiológicos e nutricionais de plantas forrageiras tropicais são necessários.

Desde 1984, o Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em Campo Grande (MS), vem desenvolvendo criteriosos trabalhos de avaliação e seleção de genótipos de *Panicum maximum* Jacq., a fim de obter acessos de maior produtividade e melhor adaptação às condições dos solos brasileiros, para posterior liberação ao pecuarista (Savidan et al., 1990; Jank, 1995). Nesse contexto, há necessidade de maiores informações relativas ao comportamento dessas gramíneas quanto aos fatores de estresse, dentre os quais se destaca a toxidez do alumínio.

A fitotoxidez do alumínio manifesta-se, principalmente, na inibição do crescimento das raízes dos vegetais, o que resulta num menor volume de solo explorado pela planta, o que traz consequências negativas sobre a nutrição mineral e sobre a absorção de água (Foy et al., 1978).

No Brasil, a espécie *Panicum maximum* destaca-se pelo seu grande potencial de produção e boa qualidade como alimento animal, sendo tradicionalmente tratada como forrageira promissora em solos férteis (Aronovich, 1995). Em particular, o cultivar comercial "Colônia" é considerado intolerante a solos ácidos, bem como ao alumínio, enquanto o cultivar "IAC-Centenário" é apontado como de alta tolerância aos referidos fatores adversos (Usberti Filho et al., 1987). Esse comportamento distinto frente a um fator externo é esperado, visto que espécies, assim como os seus cultivares, apresentam grande diferença quanto ao grau de tolerância a fatores químicos adversos no meio de crescimento.

A seleção de genótipos ao alumínio tem sido efetuada de duas formas: o cultivo em solo e cultivo em solução nutritiva. Como a toxidez do alumínio

não é o único fator de estresse em um solo ácido, muitos pesquisadores têm preferido a técnica de seleção em solução nutritiva (Rhue & Grogan, 1976; Fageria, 1982; Horst et al., 1997; Ma et al., 1997).

Este trabalho teve por objetivo estudar a influência do alumínio no crescimento radicular de 30 genótipos de *Panicum maximum*, com vistas em selecioná-los de acordo com o grau de tolerância ao alumínio.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de 30 genótipos de *Panicum maximum*, sendo 24 acessos provenientes do programa de avaliação e seleção do CNPGC/EMBRAPA e seis cultivares comerciais (Quadro 1), foram colocadas para germinar em gerbox sobre papel de filtro umedecido com solução de KNO_3 a 1%, na proporção de 2,5 mL por grama de papel, e mantidas, por oito dias, em germinador, com alternância de claro e escuro (8/16 h) e de temperatura (30/20°C). Antes da semeadura, procedeu-se à seleção das sementes em separador pneumático (assoprador), seguida de desinfecção superficial com tratamento de Rhodauran (0,1 g L⁻¹).

Os experimentos para a seleção dos genótipos foram realizados em câmara de crescimento localizada no Setor de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Química, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP. A intensidade luminosa média foi de 208 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com ciclo de iluminação de 16 horas de claro e oito horas de escuro, com temperatura de 32° ± 2°C e 20° ± 2°C e umidade relativa média de 70 ± 5% e 90 ± 5% para ambos os períodos (claro e escuro), respectivamente.

Para testar os 30 genótipos de *Panicum maximum* quanto ao crescimento da raiz seminal, considerando a aplicação de doses de alumínio, realizaram-se quatro experimentos. Em cada experimento, foram estudados oito genótipos, com exceção do segundo, no qual foram testados nove genótipos. O cultivar Colônia foi incluído em todos os experimentos como testemunha (Quadro 1).

Considerando o tamanho reduzido das plantas, desenvolveu-se um sistema para a sustentação dessas plantas sobre a solução nutritiva com base no modelo utilizado por Polle et al. (1978). O sistema de sustentação (Figura 1) consistiu de bandeja de isopor (28 x 21 x 3,5 cm) com fundo em tela de náilon. O sistema foi colocado sobre bandejas plásticas, com capacidade para dez litros de solução nutritiva. A tensão entre o sistema e a solução permitiu que as plantas colocadas sobre a tela plástica tivessem contato ajustado com a solução nutritiva, evitando que a parte aérea da planta fosse molhada pela solução. Cada célula do sistema recebeu uma planta.

Quadro 1. Genótipos de *Panicum maximum* empregados nos experimentos para avaliação do crescimento da raiz seminal

Experimento			
I	II	III	IV
Genótipo			
Colonião ⁽¹⁾	Colonião	Colonião	Colonião
K191	Tobiatã	Centauro	K214
K217	K193	Centenário	K249
KK10	T21	IZ-1	T62
KK33	T24	K68	T72
KK8	T60	Mombaca	T95
T46	T64	T84	Tanzânia-1
T91	T77	T110	Vencedor
	T97		

⁽¹⁾ Cultivar usado como testemunha.

Empregou-se a solução nutritiva proposta por Furlani & Furlani (1988) que continha as seguintes concentrações de nutrientes (mg L⁻¹): 142 de Ca, 150 de N-NO₃, 18 de N-NH₄, 87 de K, 1 de P, 22 de Mg, 5 de Fe, 21 de S, 0,39 de Mn, 0,22 de B, 0,12 de Zn, 0,03 de Cu e 0,07 de Mo. As doses de alumínio (mg L⁻¹) foram 0, 12 e 24 na forma de AlCl₃. Essas doses de alumínio já foram testadas por Usberti et al. (1987) os quais as consideraram como de boa separação para híbridos de capim-colonião quanto à tolerância ao alumínio. O pH das soluções foi ajustado em 4,2 ± 0,1, não sendo corrigido posteriormente, havendo apenas o seu registro diário. As soluções foram mantidas sob arejamento constante.

Após a emergência das plantas, realizou-se a medida do comprimento inicial da raiz seminal (CIRS), tendo sido as uniformes em tamanho transplantadas para solução nutritiva sem alumínio,



Figura 1. Sistema de sustentação utilizado para o "screening" de plantas de *Panicum maximum* em solução nutritiva. O fundo da bandeja de isopor foi forrado com tela de náilon.

onde permaneceram por 24 horas. Passado esse período, as doses de alumínio foram aplicadas. Setenta e duas horas após, mediu-se o comprimento final da raiz seminal (CFRS). A partir destas características, calculou-se o comprimento relativo da raiz seminal (CRRS) para então estimar a inibição do alongamento radicular (I) da seguinte forma:

$$CRRS = \left[\left(\frac{CFRS}{CIRS} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (\text{Parentoni et al., 1997})$$

$$I = \left[1 - \left(\frac{CRRS_{+Al}}{CRRS_{-Al}} \right) \right] \times 100 \quad (\text{Horst et al., 1997})$$

em que CRRS_{+Al} é o comprimento relativo da raiz seminal das plantas crescidas na presença de alumínio e CRRS_{-Al} o comprimento relativo da raiz seminal das plantas crescidas na ausência de alumínio.

A fim de confrontar os resultados referentes à inibição do alongamento radicular (I), estimou-se também o índice de tolerância ao alumínio (ITR-Al):

$$ITR - Al = \left[\left(\frac{CRRX - CRRS}{CRRT - CRRS} \right) \times 4 \right] + 1 \quad (\text{Furlani & Furlani, 1991})$$

em que CRR é a relação entre os valores de crescimento da raiz seminal (CRS) das plantas crescidas na presença de alumínio (CRS_{+Al}) e na ausência de alumínio (CRS_{-Al}), ou seja: CRR = CRS_{+Al}/CRS_{-Al}. Os subíndices S, T e X de CRR correspondem, respectivamente, aos valores obtidos para os genótipos: referência sensível (capim-centauro), referência tolerante (capim-centenário) e em estudo.

Empregou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições. As parcelas constituíram as doses de alumínio (3) e as subparcelas os genótipos (8 ou 9), tendo sido utilizadas oito plantas para cada subparcela.

Os resultados da inibição do alongamento radicular induzida (I-Al) e do índice de tolerância ao alumínio (ITR-Al) foram comparados com base no intervalo de confiança (I.C.) para as médias em uma distribuição "t": $s \times t_{(0,05; n-1)}$. Os cálculos foram efetuados por meio do aplicativo estatístico "SAS-System for Windows 95-release 6.11" (SAS Institute, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de alumínio influenciou, de forma distinta, no crescimento radicular dos 30 genótipos de *Panicum maximum* estudados (Figuras 2 e 3). Para a maioria dos genótipos, o comprimento das raízes foi grandemente inibido pela presença do alumínio, havendo comportamento diferenciado entre eles.

Verificou-se que, na dose de alumínio de 12 mg L⁻¹, os genótipos K191, T95, Centenário, T91 e T21 mostraram estímulo no alongamento da raiz seminal, o que não é freqüente em estudos com alumínio (Figura 2). Por outro lado, os genótipos Centauro, K68, K214, T46, T110, K193 e KK10 mostraram maiores valores para a I-Al, ou seja, foram mais sensíveis à adição do alumínio na solução nutritiva, enquanto os demais genótipos apresentaram comportamento intermediário. Como era esperado, o efeito inibidor do alumínio no alongamento da raiz foi mais pronunciado na dose de 24 mg L⁻¹ (Figura 3). Entretanto, o comportamento dos genótipos Centauro, K68, K214, T46, T110 e dos genótipos T95, K191, Centenário e T91 foi semelhante em ambas as doses de alumínio.

Dessa forma, os capins avaliados foram classificados em três grupos: tolerante, intermediário e sensível, definindo-se sensível o genótipo com inibição do crescimento radicular maior que 40%; intermediário, aquele com inibição entre 40 e 20%, e tolerante, com inibição menor que 20% (Quadro 2).

O comportamento dos genótipos K191, T91, T95 e Centenário é um indicativo importante no desenvolvimento de cultivares resistentes, pois revela o potencial de crescimento da raiz em condições de excesso de alumínio. Segundo Foy (1983), o efeito positivo do alumínio no crescimento radicular é significativo naquelas plantas tolerantes ao Al. Por outro lado, segundo Kinraide & Parker (1990), é possível que, nesses casos, a presença do alumínio esteja minimizando o efeito tóxico dos prótons H⁺.

De acordo com Furlani & Furlani (1991), genótipos com valores de ITR-Al superiores ao intervalo de confiança (I.C.) são classificados como tolerantes, enquanto aqueles com valores inferiores são sensíveis. Genótipos com valores de ITR-Al entre o limite máximo e o mínimo do I.C são classificados como de tolerância intermediária (Quadro 2).

A média e o I.C. do ITR-Al na dose de 12 mg L⁻¹ foram 3,06 e 2,60 a 3,52, respectivamente. Dessa forma, os genótipos sensíveis à toxidez do alumínio foram: K68, K214, K249, KK33, T46, T72, Colômbio,

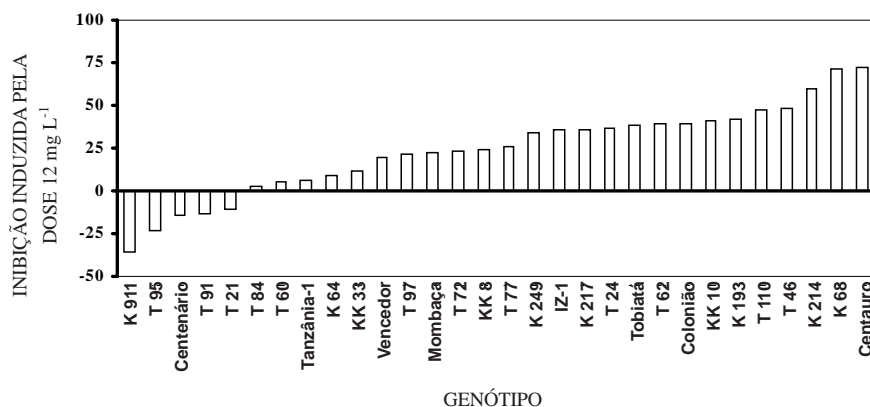


Figura 2. Inibição do alongamento radicular de 30 genótipos de *Panicum maximum* induzida por 12 mg L⁻¹ de Al em solução nutritiva.

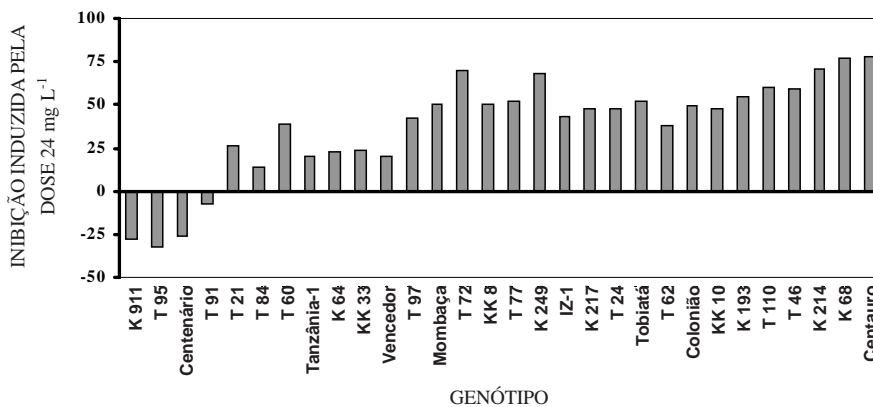


Figura 3. Inibição do alongamento radicular de 30 genótipos de *Panicum maximum* induzida por 24 mg L⁻¹ de Al em solução nutritiva.

IZ-1, Centauro, K193 e T110. Os capins de moderada tolerância foram: T77, Tobiata, K217, KK10, T24, T62, T97 e Vencedor, enquanto classificaram-se como tolerantes o K191, KK8, K64, T60, T95, T21, T84, T91, Tanzânia-1, Mombaça e Centenário. Para o ITR-Al na dose 24 mg L⁻¹, os valores para média e o I.C foram 2,31 e 1,87 a 2,74, respectivamente, provocando um rearranjo na estratificação dos genótipos quanto à tolerância. Nessa dose, apenas os genótipos T95, K191, Centenário, T84, T91 e T21 mantiveram-se no grupo de tolerância, sendo os capins Tobiata e T77 classificados como sensíveis.

Os resultados de ITR-Al evidenciam que a maior parte dos genótipos avaliados mostra de média a baixa tolerância ao alumínio. Destacam-se os genótipos T95 e K191 por apresentarem altos valores de ITR-Al, revelando alta tolerância ao alumínio e superando o cultivar Centenário, utilizado como referência para a estimativa. O resultado de ITR-Al na dose 24 mg L⁻¹, estimado para o cultivar comercial Tobiata, discorda daquele relatado por Usberti Filho et al. (1986) que o classificaram como moderadamente tolerante ao alumínio.

Os resultados de ITR-Al para o cultivar Vencedor (CPAC-3148) classificaram-no como de tolerância intermediária ao alumínio, enquanto o cultivar Colômbio foi classificado como sensível. Esses resultados confirmam as observações de Hutton & Sousa (1987), que constataram ser o cultivar Vencedor mais produtivo que o Colômbio em Oxisolos com pH 4,7 e com alta saturação em alumínio. Avaliando, de forma conjunta, os resultados de ITR-Al e da I-Al (Quadro 2), os genótipos classificados igualmente pelos quatro índices foram reunidos em diferentes grupos a saber: tolerante (K191, T95, T84, T91 e Centenário), sensível (Centauro, K68, K214 e T46) e intermediário, quando, em pelo menos um dos índices, o genótipo se classificou como tal. Verifica-se que, no grupo intermediário, há variantes entre os genótipos, uma vez que alguns se aproximam mais do grupo tolerante, como é o caso dos capins Tanzânia-1 e Vencedor, e outros, como é o caso dos capins Colômbio e IZ-1, aproximam-se dos sensíveis.

Os acessos do banco de germoplasma de *Panicum maximum* que apresentaram maior tolerância ao

Quadro 2. Classificação dos genótipos de *Panicum maximum* quanto à tolerância a 12 e 24 mg L⁻¹ de Al em solução nutritiva

Genótipo	Inibição 12		Inibição 24		ITR 12		ITR 24	
	%	Classe	%	Classe	Valor	Classe	Valor	Classe
K191	-36	T	-28	T	6,70	T	5,00	T
T95	-23	T	-32	T	7,25	T	7,15	T
Centenário	-14	T	-26	T	5,00	T	5,00	T
T91	-13	T	-7	T	3,76	T	2,97	T
T21	-11	T	26	I	3,64	T	2,77	T
T84	3	T	14	T	4,13	T	3,56	T
T60	5	T	39	I	4,30	T	2,37	I
Tanzânia-1	6	T	20	T	3,73	T	2,26	I
K64	9	T	23	I	3,413	T	2,12	I
KK33	12	T	24	I	2,42	S	1,38	S
Vencedor	20	T	20	T	2,73	I	2,26	I
T97	21	I	42	S	3,25	I	2,13	I
Mombaça	22	I	50	S	3,58	T	2,22	I
T72	23	I	70	S	2,48	S	1,77	S
KK8	24	I	50	S	4,49	T	2,01	I
T77	26	I	52	S	2,67	I	1,17	S
K249	34	I	68	S	1,39	S	1,32	S
IZ-1	36	I	43	S	2,30	S	1,47	S
K217	36	I	48	S	2,69	I	2,24	I
T24	37	I	48	S	2,67	I	2,37	I
Tobiata	38	I	52	S	2,67	I	1,17	S
T62	39	I	38	I	2,74	I	2,05	I
Colômbio	39	I	49	S	2,25	S	1,68	S
KK10	41	S	48	S	3,30	I	1,18	S
K193	42	S	55	S	2,48	S	1,67	S
T110	47	S	60	S	2,25	S	1,03	S
T46	48	S	59	S	1,76	S	1,41	S
K214	60	S	71	S	2,16	S	1,05	S
K68	71	S	77	S	1,39	S	1,32	S
Centauro	72	S	78	S	1,00	S	1,00	S

T = Tolerante: inibição do sistema radicular < 20%; S = Sensível: inibição do sistema radicular > 40%; I = Intermediário: inibição do sistema radicular entre 20 e 40%.

alumínio que os cultivares comerciais representam potencial genético importante no melhoramento dessa espécie, uma vez que, em termos de produtividade de matéria seca, já são considerados genótipos promissores para a pecuária brasileira (Jank, 1994).

CONCLUSÕES

1. Os genótipos de *Panicum maximum* diferiram marcadamente em sua tolerância ao alumínio em solução nutritiva.
2. A maior parte dos genótipos estudados apresentou de média a baixa tolerância ao alumínio.
3. Os genótipos K191, T91, T84, T95 e Centenário mostraram-se mais tolerantes ao alumínio.
4. Os genótipos Centauro, K68, K214 e T46 mostraram-se mais sensíveis ao alumínio.

LITERATURA CITADA

- ARONOVICH, S. O capim colômbio e outros cultivares de *Panicum maximum* Jacq.: Introdução e evolução do uso no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, 1995, Piracicaba. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1995. p.1-20.
- CARVER, B.F. & OWNBY, J.O. Acid soil tolerance in wheat. *Adv. Agron.*, 54:117-174, 1995.
- FAGERIA, N.K. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1-9, 1982.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29:511-66, 1978.
- FURLANI, A.M.C. & FURLANI, P.R. Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1988. 34p. (Boletim Técnico, 121)
- FURLANI, P.R. & FURLANI, A.M.C. Tolerância a alumínio e eficiência a fósforo em milho e arroz: características independentes. *Bragantia*, 50:331-340, 1991.
- HARTWELL, B.L. & PEMBER, F.R. The presence of aluminum as a reason for the difference in the effect of so-called acid soil on barley and rye. *Soil Sci.*, 6:259-81, 1918.
- HORST, W.J.; PÜSCHEL, A.K. & SCHMOHL, N. Induction of callose formation is a sensitive marker for genotypic aluminium sensitivity in maize. *Plant Soil*, 192:23-30, 1997.
- HUTTON, E.M. & SOUSA, F.B. Melhoramento de *Panicum maximum* para latossolos ácidos e de baixa fertilidade. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 24, Brasília, 1987. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1987. p.231.
- JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, Piracicaba, 1995. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1995. p.21-58.
- JANK, L. Potencial do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 1., Campinas, 1994. Anais. Campinas, Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1994. p.25-31.
- KINRAIDE, T.B. & PARKER, D.R. Apparent phytotoxicity of mononuclear hydroxy-aluminium to four dicotyledonous species. *Physiol. Plantarum*, 79:283-288, 1990.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.*, 46:237-260, 1995.
- MA, F.J.; ZHENG, S.J.; LI, X.F.; TAKEDA, K. & MATSUMOTO, H. A rapid hydroponic screening for aluminium tolerance in barley. *Plant Soil*, 191:133-137, 1997.
- MAGISTAD, O.C. The aluminum content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth. *Soil Sci.*, 20:181-227, 1925.
- OSMOND, C.B.; BJÖRKMAN, O. & ANDERSON, D.J. Physiological processes in plant ecology. New York, Springer Verlag, 1980. p.61.
- PARENTONI, S.N.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GAMA, E.E.G.; LOPES, M.A.; GUIMARÃES, P.E.O. & SANTOS, M.X. Diallel analysis in acid and fertile soils of maize inbred lines differing in their levels of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, Belo Horizonte, Minas Gerais, 1996. Plant-Soil Interactions at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production, Campinas, Brazilian Soil Science Society, 1997. p.230.
- POLLE, E.; KONZAK, C.F. & KITTRICK, J.A. Visual detection of aluminum tolerance levels in wheat by hematoxylin staining of seedling roots. *Crop Sci.*, 18:823-827, 1978.
- RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. Screening corn for aluminum tolerance. In: WRIGHT, M.J. & FERRARI, S.A, eds. WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, 1976. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Beltsville, Cornell University Press, 1976. p.297-310.
- SAS INSTITUTE INCORPORATION. The SAS-System for Windows release 6.11 (software). Cary, North Carolina: SAS Institute Incorporation, 1996.
- SAVIDAN, Y.H.; JANK, L. & COSTA, J.C.G. Registro de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum*. Campo Grande, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1990. 68p.
- USBERTI FILHO, J.A.; FURLANI, P.R.; GALLO, P.B.; PEREIRA, C.A. & DENNUCCI, S. Avaliação de híbridos e cultivares de capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) quanto à tolerância ao alumínio. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 24, Brasília, 1987. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1987. p.167.
- USBERTI FILHO, J.A.; GALLO, P.B. & PEREIRA, C.A. Capim colômbio IAC-Centenário. *O Agrônomo*, 38:121-122, 1986.
- von UEXKÜLL, H.R. & MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant Soil*, 171:1-15, 1995.