



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.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, graminea 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⁾ Professor 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 (CNPGC) 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. Freqüentemente, 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 fitotoxicidade 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 "Colonião" 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 Rhodiauran (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 $32^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ e $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa média de $70 \pm 5\%$ e $90 \pm 5\%$ 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 Colonião 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	Mombaça	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,

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": s̄t_(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 influiu, 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.



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.

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 frequente 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 20 e 40%, 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, Colonião,

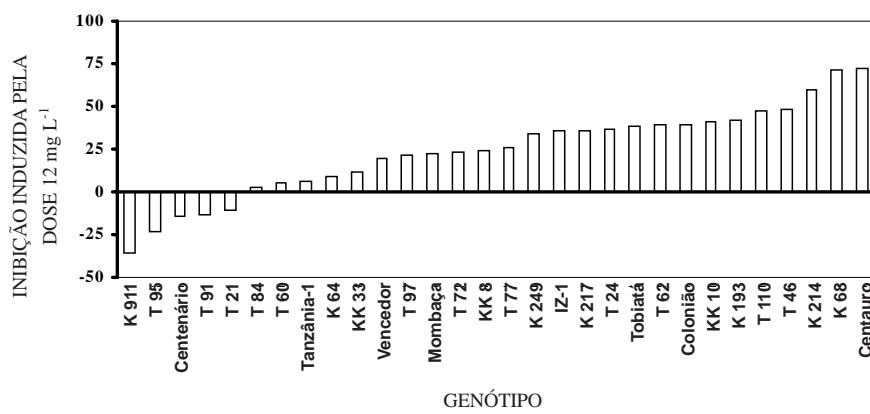


Figura 2. Inibição do alongamento radicular de 30 genótipos de *Panicum maximum* induzida por 12 mg L^{-1} de Al em solução nutritiva.

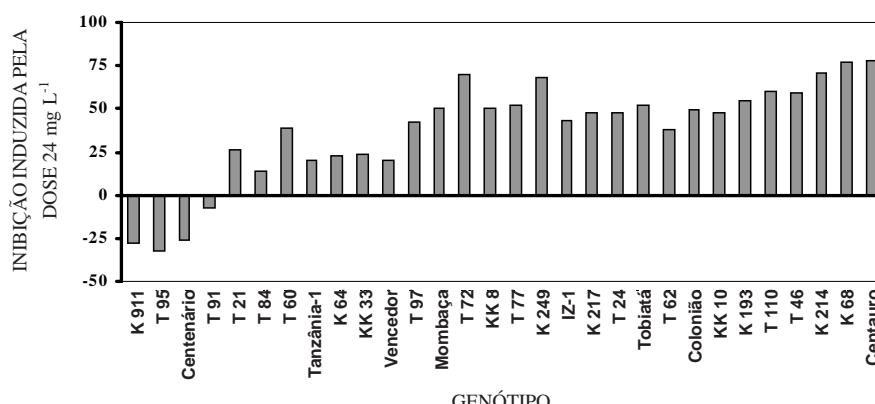


Figura 3. Inibição do alongamento radicular de 30 genótipos de *Panicum maximum* induzida por 24 mg L^{-1} de Al em solução nutritiva.

IZ-1, Centauro, K193 e T110. Os capins de moderada tolerância foram: T77, Tobiatã, 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 Tobiatã 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 Tobiatã, 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 Colonião foi classificado como sensível. Esses resultados confirmam as observações de Hutton & Sousa (1987), que constataram ser o cultivar Vencedor mais produtivo que o Colonião 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 Colonião 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
Tobiatã	38	I	52	S	2,67	I	1,17	S
T62	39	I	38	I	2,74	I	2,05	I
Colonião	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 colonião 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 Agronômico 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 colonião (*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 colonião IAC-Centenário. O Agronômico, 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.