

TOXIDEZ DE ALUMÍNIO E MANGANÊS EM SORGO SACARINO
(*Sorghum bicolor* L. Moench)
I. RELAÇÕES ENTRE P, Ca e Al*

A.C.P.A. PRIMAVESI**
E. MALAVOLTA***
O. PRIMAVESI****

RESUMO

Foi conduzido um experimento em casa de vegetação usando quatro cultivares de sorgo sacarino: CMSXS603, Br 500, Sart e Br 602, em solução nutritiva de Hoagland e Arnon nº 1 modificada para a solução padrão contendo os tratamentos (níveis de Al, P, Ca). Após a colheita foram determinados os pesos da matéria seca da raiz e parte aérea e os teores de P, K, Ca, Mg e Al. Verificou-se que:

-
- * Parte da tese apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP, Piracicaba. Entregue para publicação em 30/04/86.
- ** EMBRAPA - Departamento de Química - ESALQ/USP
- *** CENA, USP
- **** CPG do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. Bolsista da EMBRAPA.

a) o alumínio reduziu a produção de matéria seca dos cultivares sendo a parte aérea mais afetada que a radicular. Entretanto, a quantidade de matéria seca do sistema radicular refletiu melhor a tolerância relativa dos cultivares. b) o aumento dos níveis de Ca no substrato proporcionou um aumento na tolerância ao Al, desde que o P estivesse em alta concentração. c) quando comparados os tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções de matéria seca na presença de Al e tolerância ao mesmo, os teores dos elementos Ca, Mg, K, P e Al na parte aérea dos cultivares foram diferentes. O elemento fósforo foi mais importante para conferir tolerância ao alumínio no tecido radicular e na parte aérea.

INTRODUÇÃO

É conhecida a grande variabilidade genética para a tolerância ao Al, quando este se apresenta em elevadas concentrações, podendo sus efeitos tóxicos serem sentidos por um grande número de plantas.

Sabe-se que aumentando as concentrações de nutrientes no substrato, é possível reduzir a severidade dos sintomas de toxidez de Al (RHUE & GROGAN, 1977; FURLANI & CLARK, 1978; WALLACE et alii, 1980).

Tem sido usado como índice de tolerância ao Al, o efeito do mesmo no peso da matéria seca da parte aérea, assumindo que esta reflete a capacidade das raízes em absorver água e nutrientes do solo (ARMIGER et alii, 1968).

Medidas do crescimento das raízes tais como peso da matéria seca, tem sido usadas como critério para avaliar a tolerância ao Al pelas plantas (REID *et alii*, 1971), já que o mesmo poderia inibir a divisão celular (CLARKSON, 1965).

Os hábitos de crescimento dos cultivares podem diferir geneticamente (FOY *et alii*, 1965). Então, comparações de tolerância ao Al tem sido feitas usando valores relativos, isto é, dividindo-se as produções de matéria seca dos tratamentos com e sem este elemento (TAYLOR & FOY, 1985).

O presente trabalho objetivou estudar o efeito das combinações de níveis de P, Ca e Al no grau de tolerância a este último elemento, sobre quatro cultivares de sorgo sacarino.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram usados os cultivares de sorgo sacarino CMSX S603, Br 500, Sart e Br 602.

As sementes revestidas com fungicida foram colocadas a germinar em vermiculita com solução de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10^{-4}M (MALAVOLTA, 1975). Quando as plântulas atingiram 10 cm de altura (14 dias), foram transferidas para bandejas de 40 l de solução nutritiva nº 1 de HOAGLAND & ARNON (1950), modificada para a solução padrão contendo os tratamentos. Os micronutrientes foram fornecidos através da solução "a" e solução de FeEDTA (MALAVOLTA, 1975). Foi feito o balanço nutricional da solução (SARRUGE, 1975). A solução nutritiva foi substituída semanalmente até a colheita do ensaio e arejadas continuamente com ajuda de compressor de ar. O pH da solução foi ajustado para 4,0-4,5 e os volumes da soluções foram mantidos com água destilada.

A solução padrão apresentou a seguinte composição: KNO_3M - 5 ml/l; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 2 ml/l, Fe.EDTA - 1 ml/l e solução "a" - 1 ml/l. Os tratamentos foram: Al (ppm) - $\text{Al}_0=0$, $\text{Al}_1=12$, $\text{Al}_2=24$; P (mM) - $\text{P}_1=0,0125$, $\text{P}_2=0,05$, $\text{P}_3=0,25$; Ca (mM) - $\text{Ca}_1=0,125$, $\text{Ca}_2=0,5$, $\text{Ca}_3=5,0$. O nível 3 de P corresponde a 1/4 da solução de Hoagland e Arnon para evitar a precipitação do Al (NOGUEIRA, 1979). O nível 3 de Ca corresponde ao da solução de Hoagland e Arnon (SARRUGE, 1975).

O delineamento experimental seguiu o esquema de parcelas subdivididas onde os tratamentos (27) do fatorial (3 x 3 x 3) são as parcelas e os quatro cultivares as subparcelas, com quatro repetições inteiramente casualizadas.

O material foi colhido, lavado e seco em estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 65-70°C. Após a obtenção do peso da matéria seca, foi moído em moinho tipo Wiley com peneira 20 (SARRUGE & HAAG, 1974). O material foi digerido e obteve-se o extrato nitroperclórico no qual foram determinados os elementos P, Ca, Mg e Al por espectrometria de emissão com plasma induzido em argônio. O potássio foi determinado por fotometria de chama.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matéria Seca

A tabela 1 traz os pesos da matéria seca da raiz e parte aérea dos quatro cultivares.

Verificou-se a seguinte ordem decrescente para a exploração do potencial de produção de matéria seca da raiz e da parte aérea: Sart > Br 602 > CMSXS603 > Br 500.

Tabela L. Matéria seca (g) de raiz (R) e parte aérea (PA) dos cultivares CMSXS603, Br 500, Sart e Br 602

Tratamento	CMSXS603			Br 500			Sart			Br 602				
	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA	R	PA	R/PA		
Al ₀	P ₁ Ca ₁	0,368	0,79	0,47	0,191	0,52	0,37	0,480	1,29	0,37	0,401	1,37	0,30	
		Ca ₂	0,391	0,61	0,64	0,129	0,33	0,39	0,494	1,40	0,35	0,432	1,51	0,29
		Ca ₃	0,438	0,88	0,48	0,248	0,43	0,58	0,336	1,19	0,28	0,611	1,32	0,46
	P ₂ Ca ₁	0,406	1,63	0,25	0,338	1,59	0,21	0,327	1,33	0,25	0,304	1,82	0,17	
		Ca ₂	0,506	1,84	0,28	0,288	1,13	0,25	0,689	3,05	0,23	0,641	3,03	0,21
		Ca ₃	0,518	1,57	0,33	0,436	1,42	0,30	0,779	3,00	0,26	0,778	2,89	0,27
	P ₃ Ca ₁	0,248	1,67	0,15	0,247	1,56	0,16	0,241	1,93	0,12	0,345	2,21	0,16	
		Ca ₂	0,610	2,52	0,24	0,282	1,35	0,21	0,657	3,25	0,20	0,534	2,96	0,18
		Ca ₃	0,743	2,77	0,27	0,315	1,56	0,20	0,832	4,86	0,17	0,735	4,02	0,18
Al ₁	P ₁ Ca ₁	0,047	0,12	0,39	0,042	0,07	0,60	0,101	0,17	0,59	0,136	0,23	0,59	
		Ca ₂	0,043	0,11	0,39	0,025	0,08	0,31	0,129	0,23	0,53	0,111	0,23	0,48
		Ca ₃	0,025	0,08	0,31	0,046	0,08	0,58	0,094	0,21	0,45	0,103	0,21	0,49
	P ₂ Ca ₁	0,090	0,17	0,53	0,045	0,10	0,45	0,111	0,22	0,50	0,146	0,26	0,56	
		Ca ₂	0,126	0,27	0,47	0,040	0,10	0,40	0,212	0,39	0,54	0,145	0,35	0,41
		Ca ₃	0,039	0,11	0,35	0,041	0,10	0,41	0,080	0,26	0,31	0,106	0,28	0,38
	P ₃ Ca ₁	0,060	0,13	0,46	0,045	0,13	0,35	0,053	0,17	0,31	0,113	0,31	0,36	
		Ca ₂	0,090	0,19	0,47	0,072	0,17	0,42	0,234	0,44	0,53	0,270	0,55	0,49
		Ca ₃	0,217	0,42	0,52	0,196	0,44	0,45	0,415	1,02	0,41	0,339	0,73	0,46
Al ₂	P ₁ Ca ₁	0,026	0,07	0,37	0,021	0,05	0,42	0,062	0,15	0,41	0,072	0,19	0,38	
		Ca ₂	0,038	0,10	0,38	0,028	0,07	0,40	0,088	0,24	0,37	0,069	0,18	0,38
		Ca ₃	0,027	0,07	0,39	0,026	0,07	0,37	0,082	0,23	0,36	0,067	0,17	0,39
	P ₂ Ca ₁	0,034	0,09	0,38	0,028	0,05	0,56	0,092	0,17	0,54	0,053	0,14	0,38	
		Ca ₂	0,032	0,10	0,32	0,020	0,06	0,33	0,061	0,13	0,47	0,056	0,13	0,43
		Ca ₃	0,043	0,10	0,43	0,022	0,07	0,31	0,094	0,21	0,45	0,089	0,18	0,49
	P ₃ Ca ₁	0,036	0,09	0,40	0,023	0,05	0,46	0,076	0,15	0,51	0,063	0,14	0,45	
		Ca ₂	0,066	0,15	0,44	0,043	0,08	0,54	0,152	0,27	0,56	0,076	0,20	0,38
		Ca ₃	0,058	0,14	0,41	0,024	0,06	0,40	0,127	0,24	0,53	0,092	0,19	0,48

Na parte aérea no nível 12 ppm de Al, o cultivar Br 500 apresentou maior produção que CMSXS603.

Considerando a porcentagem de redução na produção de matéria seca devido ao nível 12 ppm de Al como parâmetro indicativo do grau de tolerância a esse elemento, verificou-se:

. os tratamentos que proporcionaram o maior grau de tolerância ao Al foram: raiz - P_3Ca_2 para o cultivar Br 602 (redução para 50,6%) e P_3Ca_3 para CMSXS603 (redução para 29,2%), Br 500 (62,2%) e Sart (50%); parte aérea - P_1Ca_2 para o cultivar CMSXS603 (18%), P_3Ca_3 para Br 500 (28,2%) e Sart (21,0%) e P_3Ca_2 para Br 602 (18,6%).

. o menor grau de tolerância foi devido aos tratamentos: raiz - P_1Ca_3 para o cultivar CMSXS603, P_2Ca_1 para Br 500 e P_2Ca_3 para Sart e Br 602; parte aérea - P_2Ca_1 para Br 500 e P_2Ca_3 para Sart, Br 602 e CMSXS603.

Portanto, quanto ao grau de tolerância à presença de Al, verificou-se a seguinte ordem decrescente para a melhor combinação de nutrientes P e Ca, específica ao cultivar: raiz - Br 500 > Br 602 > Sart > CMSXS603; parte aérea - Br 500 > Sart > Br 602 > CMSXS603.

Verificou-se que o elemento P parece ser mais importante para conferir tolerância ao Al na raiz e na parte aérea. Isto porque os tratamentos que condicionaram maior tolerância apresentaram em geral os níveis 3 de fósforo e cálcio. O menor grau de tolerância foi em geral devido aos tratamentos que apresentaram os níveis 2 de fósforo e 3 de cálcio para a raiz e parte aérea.

Elementos Minerais

Comparando-se para cada cultivar os respectivos tratamentos que acarretaram as maiores e menores produ-

Tabela 2. Tratamentos que permitiram a maior e menor exploração do potencial de produção de matéria seca e a tolerância ao Al na raiz e parte aérea.

Matéria seca (g)	CMSX5603		Br 500		Sart		Br 602	
> exploração Al ₀	P ₃ Ca ₃ = 0,743	P ₂ Ca ₃ = 0,436	P ₃ Ca ₃ = 0,832	P ₃ Ca ₃ = 0,778				
Al ₁	P ₃ Ca ₃ = 0,217	P ₃ Ca ₃ = 0,196	P ₃ Ca ₃ = 0,415	P ₃ Ca ₃ = 0,339				
< exploração Al ₀	P ₃ Ca ₁ = 0,248	P ₁ Ca ₂ = 0,129	P ₃ Ca ₁ = 0,241	P ₂ Ca ₁ = 0,304				
Al ₁	P ₁ Ca ₃ = 0,025	P ₂ Ca ₂ = 0,040	P ₃ Ca ₁ = 0,053	P ₁ Ca ₃ = 0,103				
> exploração Al ₀	P ₃ Ca ₃ = 2,770	P ₂ Ca ₁ = 1,590	P ₃ Ca ₃ = 4,850	P ₃ Ca ₃ = 4,020				
Al ₁	P ₃ Ca ₃ = 0,420	P ₃ Ca ₃ = 0,440	P ₃ Ca ₃ = 1,020	P ₃ Ca ₃ = 0,730				
< exploração Al ₀	P ₁ Ca ₂ = 0,610	P ₁ Ca ₂ = 0,330	P ₁ Ca ₃ = 1,190	P ₁ Ca ₃ = 1,320				
Al ₁	P ₁ Ca ₃ = 0,080	P ₁ Ca ₁ = 0,070	P ₃ Ca ₁ = 0,170	P ₁ Ca ₃ = 0,210				
Tolerância (% redução para)								
> tolerância	P ₃ Ca ₃ = 29,20	P ₃ Ca ₃ = 62,20	P ₃ Ca ₃ = 50,00	P ₃ Ca ₂ = 50,60				
< tolerância	P ₁ Ca ₃ = 5,70	P ₂ Ca ₁ = 8,40	P ₂ Ca ₃ = 10,30	P ₂ Ca ₃ = 13,60				
> tolerância	P ₁ Ca ₂ = 18,00	P ₃ Ca ₃ = 28,20	P ₃ Ca ₃ = 21,00	P ₃ Ca ₂ = 18,60				
< tolerância	P ₂ Ca ₃ = 7,00	P ₂ Ca ₁ = 6,30	P ₂ Ca ₃ = 8,70	P ₂ Ca ₃ = 9,70				

ções de matéria seca e tolerância ao alumínio (Tabela 2), verificou-se o seguinte comportamento dos elementos minerais quanto ao teor e quantidade (Tabela 3).

a) no tratamento que proporcionou a maior produção de matéria seca quando comparado ao que proporcionou a menor produção:

. os cultivares CMSXS603 e Sart mostraram teores mais elevados de Ca e K e menores de Mg, P, Al e quantidades maiores de todos os elementos.

. os cultivares Br 500 e Br 602 apresentaram teores maiores dos elementos Ca, K e P e menores de Al e Mg e quantidades maiores de todos os elementos.

b) no tratamento que condicionou o maior grau de tolerância ao Al quando comparado ao que condicionou a menor tolerância:

. o cultivar CMSXS603 apresentou teores e quantidades menores de Ca, Mg, K, P e Al.

. o cultivar Br 500 mostrou teores maiores de Ca, K, P e menores de Al e Mg e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.

. o cultivar Sart apresentou teores mais elevados de Ca, Mg, K, P e menores de Al e quantidades maiores de Ca, Mg, K, P e Al.

. o cultivar Br 602 apresentou teores maiores de K e P e menores de Ca, Mg, Al e quantidades menores de Ca e maiores de Mg, K, P e Al.

Na tabela 4, fixando-se o nível 3 de P, verifica-se que em todos os cultivares houve um aumento no grau de tolerância ao Al com doses de Ca, tanto na raiz como na parte aérea. Essa observação é coincidente com os dados obtidos por RHUE & GROGAN (1977) em que aumentando a concentração de cálcio decrescia a toxidez de alumínio em milho. Esses mesmos autores sugerem que essa técnica poderia ser usada para selecionar espécies onde o conhecimento da faixa de tolerância entre genótipos individuais é desejado. Isto quer dizer que um cultivar pode

Tabela 3. Teores e quantidades de nutrientes e Al na parte aérea dos cultivares, nos tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções de matéria seca no nível 12 ppm de Al e tolerância ao mesmo.

Cultivar	Tratamento	Ca		Mg		K		P		Al	
		% plantas	mg/2 plantas	% plantas	mg/2 plantas	% plantas	mg/2 plantas	% plantas	mg/2 plantas	ppm plantas	mg/2 plantas
CASXS603	Al ₁ /Al ₀	0,06	0,066	0,51	0,561	2,07	2,277	0,17	0,187	177	0,019
	P ₁ Ca ₂ T+	0,52	0,572	0,57	0,627	2,47	2,717	0,21	0,231	280	0,031
	P ₂ Ca ₃ T-	0,66	2,772	0,27	1,134	3,16	13,272	0,17	0,714	61	0,026
	P ₁ Ca ₃ P-	0,26	0,208	0,56	0,448	2,56	2,048	0,19	0,152	168	0,013
Br 500	Al ₁ /Al ₀	0,86	3,784	0,40	1,760	4,57	20,108	0,29	1,276	108	0,048
	P ₂ Ca ₁ T-	0,05	0,050	0,44	0,440	2,40	2,400	0,21	0,210	245	0,025
	P ₃ Ca ₃ P+	0,86	3,784	0,40	1,760	4,57	20,108	0,29	1,276	108	0,048
	P ₁ Ca ₁ P-	0,06	0,042	0,51	0,357	2,74	1,918	0,09	0,063	227	0,016
Sart	Al ₁ /Al ₀	0,98	9,996	0,42	4,284	3,69	37,638	0,26	2,652	95	0,097
	P ₂ Ca ₃ T-	0,44	1,144	0,34	0,884	2,20	5,720	0,07	0,182	238	0,027
	P ₃ Ca ₃ P+	0,98	9,996	0,42	4,284	3,69	37,638	0,26	2,652	95	0,097
	P ₃ Ca ₁ P-	0,10	0,170	0,64	1,088	3,30	5,610	1,07	1,819	153	0,026
Br 602	Al ₁ /Al ₀	0,08	0,440	0,29	1,595	3,05	16,775	0,54	2,940	131	0,072
	P ₂ Ca ₃ T-	0,50	1,400	0,33	0,924	1,78	4,984	0,08	0,224	218	0,061
	P ₃ Ca ₃ P+	0,87	6,351	0,34	2,482	4,31	31,463	0,23	1,679	125	2,094
	P ₁ Ca ₃ P-	0,46	0,966	0,38	0,798	2,54	5,334	0,06	0,126	150	0,032

OBS: P = ± produção
T = ± tolerância

apresentar tolerância em todos os níveis de nutrientes, outro pode ser susceptível, e um outro tolerante em um nível e susceptível quando este nível é modificado. No presente experimento, os cultivares mostraram mudanças em seu grau de tolerância quando se variaram os níveis de nutrientes no substrato.

Torna-se importante e de aplicação prática, o conhecimento da faixa de tolerância ao Al pela variação nos níveis de nutrientes, pois amplia-se o número de cultivares que podem ser usados, pois além dos tolerantes podem ser utilizados os cultivares que apresentam grau de tolerância maior em determinados níveis de nutrientes.

Constata-se também a importância da combinação dos níveis para atingir a máxima produção de matéria seca e/ou o maior grau de tolerância, visto que o aumento no grau de tolerância com as doses de Ca só ocorreu na presença do nível 3 de P. Fixando-se o nível 3 de Ca, observa-se o mesmo comportamento quanto ao acúmulo de matéria seca e grau de tolerância, com os níveis de P. FOY e BROWN (1963) relatam que o efeito tóxico do Al pode ser reduzido pela adição de fósforo.

CONCLUSÕES

. O alumínio reduziu a produção de matéria seca dos cultivares sendo a parte aérea mais afetada que a radicular. Entretanto a quantidade de matéria seca do sistema radicular refletiu melhor a tolerância relativa dos cultivares.

. A parte aérea e o sistema radicular não foram sempre afetados igualmente para uma dada combinação de níveis de Al e nutrientes no substrato.

. A elevação dos níveis de Ca no substrato promo-

Tabela 4. Variação percentual da produção de matéria seca no experimento de Ca, com o aumento do nível de Al de 0 para 12 ppm, na solução nutritiva. (grau de tolerância).

Nível	Parte aérea				Raiz			
	CMSXS603	Br 500	Sart	Br 602	CMSXS603	Br 500	Sart	Br 602
Ca ₁								
P ₁	15,2	13,5	13,2	16,8	12,8	22,0	21,0	33,1
P ₂	10,4	6,3	16,5	14,3	22,2	8,4	33,9	48,0
P ₃	7,8	8,3	8,8	14,0	24,2	18,2	22,0	32,8
Ca ₂								
P ₁	18,0	24,2	16,4	15,2	11,0	19,4	24,9	25,7
P ₂	14,7	8,8	12,8	11,6	24,9	13,9	30,8	22,6
P ₃	7,5	12,6	13,5	18,6	14,8	25,5	35,6	50,6
Ca ₃								
P ₁	9,1	18,6	17,6	15,9	5,7	18,1	28,0	16,9
P ₂	7,0	7,0	8,7	9,7	7,5	9,4	10,3	13,6
P ₃	15,2	28,2	21,0	18,2	29,2	62,2	50,0	46,1

veu um aumento na tolerância ao Al desde que o P estivesse em alta concentração.

. Quanto ao grau de tolerância ao Al verificou-se que o cultivar Br 500 mostrou-se mais tolerante e CMSx S603 o mais susceptível.

. Os teores dos elementos Ca, Mg, K, P e Al na parte aérea dos cultivares foram diferentes para os cultivares, quando comparados os tratamentos que acarretaram as maiores e menores produções de matéria seca na presença de alumínio e tolerância ao mesmo.

. O elemento fósforo foi mais importante para conferir tolerância ao alumínio no tecido radicular e na parte aérea.

SUMMARY

INDUCED TOXICITIES OF ALUMINUM AND MANGANESE IN SWEET SORGHUM. I. RELATIONS BETWEEN P, Ca and Al.

Four sweet sorghum cultivars, CMSXS603 Br 500, Sart and Br 602 were grown in nutrient solution with varying levels of Al, P and Ca in a factorial design.

Main conclusions were the following:

(1) Aluminum reduced top dry matter more severely than root weight. Root development, however provided a better indication of the relative tolerance to aluminum toxicity.

(2) As long as P was sufficiently high in the nutrient solution, raising the Ca level increased tolerance of the various cultivars to high levels of Al in the substrate.

(3) The different levels of Al in the nutrient solution affected the content of Ca, Mg, K and P in the tops.

(4) Phosphorus levels in the nutrient solution were the single most important factor to increase tolerance to Al toxicity.

LITERATURA CITADA

- ARMIGER, W.H.; C.D. FOY; A.L. FLEMING & B.E. CALDWELL, 1968. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable Al. *Agron. J.*, **60**: 67-70.
- CLARKSON, D.T., 1965. The effect of aluminium and other trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Ann. Bot.*, **29**: 309-15.
- FOY, C.D. & J.C. BROWN, 1963. Toxicity factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **27**(4): 403-407.
- FOY, C.D.; G.R. BURNS; J.C. BROWN & A.L. FLEMING, 1965. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around their roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **29** (1): 64-67.
- FURLANI, P.R. & R.B. CLARK, 1978. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solution. In: *Agronomy Abstracts*. Madison, p. 153.
- HOAGLAND, D.R. & D.I. ARNON, 1950. The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agr. Expt. Sta. Circ.*, 34 pp.
- MALAVOLTA, E., 1975. Práticas de nutrição mineral de

- plantas. Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Postila mimeografada, 65 pp.
- NOGUEIRA, F.D., 1979. Efeitos do alumínio no sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). Piracicaba, ESALQ USP, 120 pp. (Tese de Doutorado).
- REID, D.A.; A.L. FLEMING & C.D. FOY, 1971. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al toxic soil. *Agron. J.*, 63: 600-603.
- RHUE, R.D. & C.O. GROGAN, 1977. Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentration. *Agroñ J.*, 69: 755-760.
- SARRUGE, J.R. & H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ/USP. 56 pp.
- SARRUGE, J.R., 1975. Soluções nutritivas. Nota técnica, *Summa Phytopathologica*. Piracicaba, 1: 231-233.
- TAYLOR, J.G. & C.D. FOY, 1985. Mechanisms of aluminum tolerance in *Triticum aestivum* L. (wheat) I. Differential pH induced by winter cultivars in nutrient solutions. *Amer. J. Bot.*, 72(5): 695-701.
- WALLACE, A.; E.M. ROMNEY; R.T. MUELLER & G.V. ALEXANDER, 1980. Calcium-trace metal interactions in soybean plants. *J. Plant Nutr.*, 21 (1-2): 79-86.