

TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)
AO ALUMÍNIO E AO MANGANÊS.
I. DETERMINAÇÃO DA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO *

J.L. BRAUNER **

J.R. SARRUGE ***

RESUMO

Tendo-se como objetivo a identificação do grau de tolerância ao alumínio de 30 cultivares de trigo, foi realizado um experimento em casa de vegetação, onde as plantas foram desenvolvidas em soluções nutritivas contendo 0,0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 ppm de alumínio, por um período de 12 dias. Procedeu-se à análise da variância para os dados de comprimento das raízes e peso da matéria seca das raízes e das partes aéreas. Para cada um dos parâmetros em que o alumínio exerceu efeito significativo, realizou-se uma análise de

* Parte da tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, pelo primeiro autor para obtenção do grau de Doutor em Agronomia. Entregue para publicação em 29/12/1980.

** Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel, Pelotas, RS.

*** Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

regressão até o 3º grau, considerando-se a equação significativa de maior grau como representativa. A partir das equações de regressão foram calculadas as concentrações de alumínio necessárias para produzir em cada cultivar 80% do peso da matéria seca das partes aéreas e das raízes e 80% do comprimento das raízes, considerando-se como 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio. Os resultados obtidos com o uso dos critérios referidos permitiram classificar os cultivares em 4 grupos de tolerância.

INTRODUÇÃO

O controle de acidez de alumínio, ocorrente em situações de elevada acidez do solo, é geralmente efetivada pela prática de calagem. No entanto, muitas circunstâncias podem determinar sua impossibilidade ou inadequabilidade de uso (FOY, 1974, p.630-631). Uma opção alternativa que gradualmente assume importância é o da adaptação de genótipos de plantas aos solos possuidores de elevadas concentrações de alumínio, através de um melhoramento genético. Esse programa, conforme caracterizam BROWN *et alii* (1972), deve envolver a seleção de uma ampla variedade de material genético dentro de espécies, a determinação da natureza de tolerância e a combinação dessa tolerância com outras características desejáveis, visando a produção de uma variedade superior para aquela condição particular de solo.

A determinação do grau de tolerância ao alumínio de cultivares de uma mesma espécie tem sido feita usando-se solo em condições ambientais (MUZILLI *et alii*, 1978), solo em condições de casa de vegetação (FOY *et alii*, 1965) ou solução nutritiva em condições de casa de vegetação (KERRIDGE *et alii* 1971).

No presente estudo, objetivou-se identificar o grau de tolerância ao alumínio de 30 cultivares de trigo, usando-se solução nutritiva, num ambiente de casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados 30 cultivares de trigo, originários do Brasil e México, quais sejam:

Brasil - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 57, IAS 58, IAS 60, IAS 61, IAS 63, IAS 64, C 33, Toropi, Frontana, CNT1, CNT2, Nobre, PF 70354, PF 70546, Pel 72018, Pel 72083, Maringá, Horto, Coxilha, Londrina, PAT19 e PAT24;

México - Sonora 63 P, Super x, Sonora 63 C, Yecora e LA 1549.

Foram recebidas sementes de cultivar Sonora 63 do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (EMBRAPA) e do Instituto Agrônômico de Campinas e, supondo-se que as mesmas foram obtidas por multiplicação em condições de solo e clima diferentes, ambas foram incluídas no experimento. Dessa forma, a notação Sonora 63 P se refere ao cultivar Sonora 63, cujas sementes procedem do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, e Sonora 63 C, ao mesmo cultivar, mas cujas sementes procedem do Instituto Agrônômico de Campinas.

O grau de tolerância dos cultivares ao alumínio foi determinado através de um ensaio realizado em condições de casa de vegetação, sendo as plantas desenvolvidas em solução nutritiva prescrita por KERRIDGE *et alii* (1971).

Foi utilizado um delineamento experimental de parcelas inteiramente casualizadas com 30 cultivares de trigo, 5 níveis de alumínio (0,0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 ppm), na forma de $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$ e 4 repetições, totalizando 600 unidades experimentais.

As unidades experimentais foram distribuídas em 30 baldes de plástico, contendo 18,5 litros de solução nutritiva, de tal modo que em cada balde se desenvolveram plantas de 10 cultivares, com 2 repetições (20 unidades experimentais).

As sementes foram germinadas em substrato de papel marca Xuga, umedecido com solução de $Ca(NO_3)_2$, contendo uma con-

centração de 4 milimoles por litro, usando-se a técnica empregada pelos laboratórios de semente para determinação do poder germinativo. Três dias após a semeadura, 3 plantas normais e uniformes foram colocadas em três cortes radiais de um pedaço de espuma plástica de 2 cm de espessura, recortado em forma circular, possuindo 4 cm de diâmetro. O conjunto foi preso a um tubo de polietileno de 4,5 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro, o qual, devido a um dobramento em forma de aba de sua extremidade superior ficava suspenso em uma das 20 aberturas de uma tampa de polietileno, que recobria a extremidade aberta do balde, propiciando a imersão das raízes na solução nutritiva.

As soluções nutritivas, contendo os vários tratamentos com alumínio, foram arejadas continuamente. Antes da adição do alumínio, o pH das soluções foi ajustado até 4,0 e mantido nesse valor até o término do ensaio, através de ajustes diários, por meio de um potenciômetro.

Diariamente foi medida a temperatura do ar da casa de vegetação, tendo-se registrado um valor máximo médio de 35,4°C, e um valor mínimo médio de 21,5°C.

Após 12 dias de contato com os vários tratamentos, as plantas foram colhidas e imediatamente medido o comprimento da raiz principal de cada uma. As partes aéreas e raízes foram secadas a 70-75°C e pesadas.

Procedeu-se à análise da variância para os dados de comprimento das raízes e peso da matéria seca das partes aéreas. Para cada um dos parâmetros em que o alumínio exerceu efeitos significativos, realizou-se uma análise de regressão até o 3º grau, considerando-se a equação significativa de maior grau, como representativa. A partir das equações de regressão foram estimadas as concentrações de alumínio necessárias para produzir em cada cultivar 80% do peso da matéria seca das partes aéreas e das raízes e 80% do comprimento das raízes, considerando-se como 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio, sendo os cultivares agrupados de acordo com esses valores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de comprimento das raízes das plantas dos cultivares de trigo para cada tratamento com alumínio.

Observa-se que na ausência de alumínio existem diferenças varietais, conforme revela o teste de Tukey, de tal modo que o cultivar Sonora 63 P foi o que apresentou maior comprimento de raízes, e o cultivar IAS 60, o menor comprimento.

A análise da variância (C.V. = 13,84%) revelou que os comprimentos das raízes dos cultivares IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, Frontana, Nobre e PF 70546 não foram afetados pelo alumínio. Para os demais cultivares são apresentadas na Tabela 2 as equações de regressão, com os respectivos valores de F , coeficientes de determinação e pontos de máximo e mínimo comprimento das raízes e correspondentes concentrações de alumínio.

Na Tabela 3, são mostrados os pesos de matéria seca das raízes dos vários cultivares de trigo, obtidos nos 5 tratamentos com alumínio.

Na ausência de alumínio, constata-se que existem diferenças varietais, conforme indica o teste de Tukey. O cultivar que apresentou maior peso de raízes foi a IAS 64, e, o menor peso, o IAS 55.

A análise da variância (C.V. = 17,80%) permitiu constatar que 11 cultivares tiveram respostas significativas aos níveis de alumínio. A natureza dessas respostas é revelada pelas equações de regressão mostradas na Tabela 4, juntamente com os valores de F , coeficientes de determinação e pontos de máximo e de mínimo peso de matéria seca e correspondentes concentrações de alumínio.

Na Tabela 5, são apresentadas os pesos de matéria seca das partes aéreas das plantas dos cultivares submetidos aos vários tratamentos com alumínio.

Conforme o teste de Tukey, o cultivar que apresentou

Tabela 1 - Comprimento das raízes das plantas em função de concentrações crescentes de alumínio (médias de 4 repetições)

CULTIVAR	COMPRIMENTO DAS RAÍZES (cm)				
	0,0	2,5	ppm 5,0	7,5	10,0
Sonora 63 P	22,0	4,6	4,5	4,6	3,8
Super x	12,4	8,1	5,5	5,9	6,2
Sonora 63 C	20,5	5,9	5,6	4,6	5,3
Yecora	14,8	21,3	17,7	14,9	10,8
LA 1549	18,6	19,2	15,3	12,3	8,4
IAS 20	13,3	12,4	13,3	16,2	12,2
IAS 54	15,1	16,0	14,5	14,8	12,5
IAS 55	11,7	13,6	13,6	14,5	11,6
IAS 57	12,0	17,3	16,6	16,6	10,6
IAS 58	14,2	23,4	18,6	18,3	14,0
IAS 60	10,8	12,2	12,0	14,4	13,3
IAS 61	11,5	17,2	17,8	17,6	14,3
IAS 63	13,3	14,7	16,8	15,6	19,0
IAS 64	14,5	13,5	17,5	19,1	15,9
C 33	14,2	16,8	18,2	18,8	15,5
Toropi	16,7	24,7	19,6	19,4	14,7
Frontana	15,8	15,3	16,3	15,5	15,1
CNT1	15,4	18,3	19,5	21,6	21,3
CNT2	11,6	14,4	15,7	16,8	11,6
Nobre	14,9	14,5	15,2	13,2	14,5
PF 70354	18,0	15,0	15,2	14,6	13,5
PF 70546	15,5	13,5	17,5	16,1	15,1
Pel 72018	12,4	16,8	16,2	13,7	9,9
Pel 72083	14,7	15,6	18,8	14,4	11,1
Maringã	15,4	17,5	26,2	23,4	20,4
Horto	16,2	17,1	21,8	20,8	19,5
Coxilha	18,8	21,5	20,4	19,2	15,2
Londrina	15,9	15,7	19,3	14,6	12,7
PAT 19	16,2	21,3	19,2	21,2	17,7
PAT 24	17,6	21,0	20,2	21,5	18,5
d.m.s.(0,05)* Tukey			5,6		

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração.

Tabela 2 - Equações de regressão dos valores de comprimento das raízes das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F, coeficientes de determinação (r²) e pontos de máximo e de mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO	F	r ²	Ponto de Máxima		Ponto de Mínimo	
				Al	Compr. cm	Al	Compr. cm
				ppm	cm	ppm	cm
Sonora 63 P	$Y = -0,0981X^3 + 1,852X^2 - 10,5324X + 21,7471$	30,02**	98,53	8,24	5,84	4,33	2,91
Super x	$Y = 0,1377X^2 - 1,9591X + 12,2514$	9,20**	97,92	-	-	7,11	5,28
Sonora 63 C	$Y = -0,0661X^3 + 1,3354X^2 - 8,2610X + 20,2978$	13,63**	97,60	8,64	5,96	4,81	4,10
Yecora	$Y = 0,0467X^3 - 0,9331X^2 + 4,2598X + 15,0107$	6,79**	96,03	2,92	20,65	10,40	10,88
LA 1549	$Y = -0,1011X^2 - 0,1126X + 19,2507$	4,96*	95,47	-0,55	19,28	-	-
IAS 57	$Y = -0,2320X^2 + 2,1200X + 12,8900$	26,10**	93,33	4,56	17,73	-	-
IAS 58	$Y = 0,0535X^3 - 1,0591X^2 + 5,2273X + 14,5632$	8,91**	82,33	3,28	22,20	9,92	14,38
IAS 61	$Y = -0,2154X^2 + 2,3963X + 11,7721$	22,50**	96,55	5,56	18,44	-	-
IAS 63	$Y = 0,4910X + 13,4350$	13,36**	81,59	-	-	-	-
IAS 64	$Y = -0,0523X^3 + 0,7060X^2 - 1,6883X + 14,4000$	8,52**	98,09	7,58	19,40	1,41	13,27
C 33	$Y = -0,1426X^2 + 1,6067X + 14,0128$	9,86**	93,52	5,63	18,54	-	-
Toropi	$Y = 0,0459X^3 - 0,9240X^2 + 4,4533X + 17,0900$	6,56*	81,36	3,14	23,38	10,28	15,05
CNT1	$Y = 0,5940X + 16,2300$	19,55**	88,00	-	-	-	-
CNT2	$Y = -0,1868X^3 + 1,9606X^2 + 11,2043$	16,93**	86,90	5,24	16,35	-	-
PF 70354	$Y = -0,3760X + 17,4000$	7,83**	80,37	-	-	-	-
Pe1 72018	$Y = -0,2088X^2 + 1,7666X + 12,7893$	21,15**	95,25	4,22	16,52	-	-
Pe1 72083	$Y = -0,1826X^2 + 1,4926X + 14,3093$	16,21**	83,78	4,08	17,36	-	-
Maringá	$Y = -0,0356X^3 + 8,2854X^2 + 1,2082X + 14,9304$	3,95*	83,75	6,96	25,16	-1,62	13,87
Horto	$Y = -0,1148X^2 + 1,5666X + 15,5693$	6,40*	78,45	6,81	20,91	-	-
Coxilha	$Y = -0,1546X^2 + 1,1687X + 19,0128$	11,50**	97,05	3,77	21,22	-	-
Londrina	$Y = -0,1346X^2 + 1,0407X + 15,4928$	9,78**	66,77	3,86	17,50	-	-
PAT 19	$Y = -0,1497X^2 + 1,6111X + 16,6786$	10,87**	66,85	5,38	21,01	-	-
PAT 24	$Y = -0,1200X^2 + 1,2940X + 17,8050$	6,98**	77,39	5,39	21,29	-	-

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 3 - Peso da matéria seca das raízes das plantas de trigo em função de concentrações crescentes de alumínio (média de 4 repetições)

CULTIVAR	MATÉRIA SECA DAS RAÍZES (cm)				
	0,0	2,5	ppm 5,0	7,5	10,0
Sonora 63 P	70	26	20	25	18
Super x	70	43	42	42	29
Sonora 63 C	58	32	19	19	16
Yacora	94	105	86	87	66
LA 1549	103	102	86	77	45
IAS 20	58	71	62	71	57
IAS 54	62	76	66	78	73
IAS 55	56	57	69	61	54
IAS 57	73	69	74	61	53
IAS 58	79	90	77	70	60
IAS 60	48	50	49	54	44
IAS 61	81	98	95	92	66
IAS 63	59	77	62	57	64
IAS 64	106	84	82	90	86
C 33	78	78	81	78	78
Toropi	74	76	70	69	48
Frontana	73	88	78	86	69
CNT1	86	107	96	102	107
CNT2	81	77	78	76	65
Nobre	71	56	70	66	60
PF 70354	69	66	65	72	65
PF 72547	72	74	80	88	72
Pel 72018	80	78	65	67	48
Pel 72083	92	76	96	90	73
Maringã	83	90	94	90	92
Horto	72	79	83	77	72
Coxilha	58	54	52	58	49
Londrina	78	78	79	83	73
PAT 19	50	51	58	61	56
PAT 24	61	62	60	64	63
d.m.s. (0,05)* Tukey			33		

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

Tabela 4 - Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca das raízes de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de F, coeficientes de determinação (r²) e pontos de máximo e de mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	F	r ²	Ponto de			
				Máximo		Mínimo	
				Al	M.S.	Al	M.S.
				ppm	mg	ppm	mg
Sonora 63 P	$Y = -0,2667X^3 + 4,9857X^2 - 28,3405X + 69,6714$	6,57*	99,98	8,07	25,51	4,38	18,78
Super x	$Y = -0,2120X^3 + 3,5057X^2 - 17,9321X + 69,5964$	4,15*	99,81	6,99	43,14	4,03	40,39
Sonora 63 C	$Y = 0,6686X^2 - 10,5257X + 56,3071$	6,42*	97,98	-	-	7,87	14,88
Yecora	$Y = -2,9000X + 102,0500$	13,81**	66,82	-	-	-	-
LA 1549	$Y = -0,6314X^2 + 0,7043X + 102,7571$	5,73*	98,02	0,55	102,95	-	-
IAS 58	$Y = -2,3300X + 87,0000$	8,91**	68,54	-	-	-	-
IAS 61	$Y = -0,9771X^2 + 8,3514X + 81,3857$	13,72**	95,59	4,27	99,23	-	-
IAS 64	$Y = 0,5457X^2 - 6,8271X + 103,4214$	4,28*	73,78	-	-	6,25	82,07
Toropi	$Y = -2,3500X + 79,3000$	9,06**	69,84	-	-	-	-
Pe1 72018	$Y = -3,0300X + 82,8500$	15,07**	87,41	-	-	-	-
Pe1 72083	$Y = -0,2493X^3 + 3,4286X^2 - 11,2774X + 91,3821$	5,74*	79,19	7,01	94,92	2,14	80,51

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade.

M.S. = matéria seca

Tabela 5 - Peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de trigo em função de concentrações crescentes de alumínio (média de 4 repetições)

CULTIVAR	MATÉRIA SECA DAS PARTES AÉREAS (mg)				
	0,0	2,5	ppm 5,0	7,5	10,0
Sonora 63 P	128	114	73	73	96
Super x	154	119	128	123	87
Sonora 63 C	111	104	68	72	56
Yacora	170	151	112	129	103
LA 1549	172	151	125	116	106
IAS 20	130	134	116	126	135
IAS 54	141	147	130	129	134
IAS 55	128	122	126	111	94
IAS 57	151	129	137	111	113
IAS 58	173	170	120	120	107
IAS 60	106	100	93	98	86
IAS 61	186	191	165	155	117
IAS 63	130	150	121	116	114
IAS 64	214	160	148	165	135
C 33	204	185	168	163	155
Toropi	152	133	123	121	98
Frontana	183	192	180	178	141
CNT1	209	231	202	200	194
CNT2	168	144	146	134	115
Nobre	154	118	143	137	116
PF 70354	126	112	106	131	107
PF 72547	146	144	132	137	119
Pel 72018	150	130	122	123	106
Pel 72083	194	135	152	145	122
Maringã	205	172	161	172	195
Horto	168	156	160	166	142
Coxilha	120	90	92	101	82
Londrina	174	141	146	157	133
PAT 19	100	84	86	81	86
PAT 24	127	94	80	99	85
d.m.s. (0,05)* Tukey			54		

* Comparação entre cultivares dentro de cada concentração

maior peso de matéria seca das partes aéreas foi o IAS 64, e o que apresentou menor peso foi o PAT 19.

Mostram-se na Tabela 6 as equações de regressão, com seus respectivos valores de F , coeficientes de determinação e pontos de máximos e mínimo peso de matéria seca das partes aéreas e correspondentes concentrações de alumínio dos 19 cultivares que mostraram respostas significativas aos níveis de alumínio conforme revelou a análise de variância (C.V. = 15,34%).

A partir dos pontos de máximo comprimento das raízes, peso de matéria seca das raízes e peso de matéria seca das partes aéreas e dos valores estimados para o nível 0 de alumínio desses mesmos parâmetros, revelados pela equação de regressão (Tabelas 2, 4 e 6), constata-se que esse elemento exerceu um efeito benéfico em alguns cultivares. Dessa forma, os cultivares IAS 63 e CNT1 exibiram acréscimos no comprimento de suas raízes à medida que aumentou a concentração de alumínio. Os cultivares Horto, PAT 19, C 33, CNT2, PAT 24, Pel 72083, Coxilha, Londrina, IAS 61, Yecora, LA 1549, IAS 57, IAS 58 e Pel 72018 tiveram também o comprimento de suas raízes aumentando, porém até certa concentração de alumínio. Quanto ao peso da matéria seca das raízes, somente os cultivares LA 1549 e IAS 61 foram estimulados, enquanto que o peso da matéria seca das partes aéreas do cultivar Frontana aumentou até a concentração de 2,94 ppm de alumínio.

Esses efeitos benéficos têm sido registrados em vários trabalhos, conforme informam JACKSON (1967) e FOY (1974) e, segundo JACKSON (1967), não podem ser indicativos da essencialidade do alumínio para as plantas. Esses dois, últimos autores citados e CLARK (1977) têm atribuído os efeitos benéficos do elemento aos seguintes fatores: a) a liberação do ferro preso no interior da plantam aumentando a solubilidade e disponibilidade deste e melhorando sua distribuição; b) à diminuição do crescimento de microrganismos prejudiciais associados às raízes; c) à inativação do fósforo quando presente em concentrações tóxicas no meio de crescimento; d) à prevenção de efeitos tóxicos de outros íons, como hidrogênio, cobre e manganês.

Tabela 6 - Equações de regressão dos vapores de peso de matéria seca das partes aéreas das plantas de cultivares de trigo obtidos em função das concentrações de alumínio e respectivos valores de **F**, coeficientes de determinação (r^2) e pontos de máximo e de mínimo

CULTIVAR	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO	F	r^2	Ponto de Máximo		Ponto de Mínimo	
				Al ppm	Mat.seca mg	Al ppm	Mat.seca mg
Sonora 63 P	$Y = -7,3900X + 126,1000$	32,38**	91,19	-	-	-	-
Super x	$Y = -0,4040X^3 + 5,8657X^2 - 24,9321X + 152,9464$	5,44*	98,16	6,52	127,77	3,15	119,98
Sonora 63 C	$Y = -5,7200X + 110,7000$	19,40**	87,25	-	-	-	-
Yecora	$Y = -6,2200X + 164,0500$	22,93**	79,12	-	-	-	-
LA 1549	$Y = -6,6600X + 167,5500$	26,30**	95,44	-	-	-	-
IAS 57	$Y = -3,8100X + 147,2000$	8,61**	78,62	-	-	-	-
IAS 58	$Y = -7,3000X + 174,6000$	31,60**	85,17	-	-	-	-
IAS 61	$Y = -6,9300X + 197,4000$	28,47**	85,90	-	-	-	-
IAS 64	$Y = -0,4733X^3 + 7,9914X^2 - 40,5560X + 215,4678$	7,47**	98,22	7,39	161,16	3,86	150,77
C 33	$Y = -4,8400X + 199,1500$	13,89**	93,44	-	-	-	-
Toropi	$Y = -4,8600X + 149,9000$	14,00**	93,30	-	-	-	-
Frontana	$Y = -0,9486X^2 + 5,5857X + 182,2928$	4,67*	93,60	2,94	190,52	-	-
CNT2	$Y = -4,6300X + 164,7000$	12,71**	91,08	-	-	-	-
Nobre	$Y = -0,4080X^3 + 6,1400X^2 - 24,4000 - 152,09000$	5,55*	83,51	7,30	143,26	2,72	123,75
Pel 72018	$Y = -3,8100 - 145,4500$	8,61**	89,98	-	-	-	-
Pel 72083	$Y = -0,4933X^3 + 7,9457X^2 - 37,3238X + 192,2214$	8,12**	94,49	7,26	151,27	3,47	137,37
Maringã	$Y = 1,5257X^2 - 16,0971X + 204,3214$	12,08**	99,10	-	-	5,27	161,86
Londrina	$Y = -0,3893X^3 + 6,1200X^2 - 26,3667X + 174,4000$	5,06*	99,84	7,44	156,66	3,03	139,86
PAT 24	$Y = -3,1600X + 112,8500$	5,92*	44,65	-	-	-	-

* Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade

** Valores significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Os cultivares Horto, PAT 19, C 33, CNT2, PAT 24, e, principalmente, IAS 63 e CNT1 tiveram os comprimentos de suas raízes aumentados, na faixa de concentração estudada, sem exibirem qualquer alteração no peso de matéria seca das mesmas. Isso sugere ter havido somente um aumento da elongação celular das raízes e, portanto, uma provável relação entre alumínio e hormônios de crescimento. EDWARDS *et alii* (1976), verificando a influência de 0, 222, 666 e 2000 μM de alumínio sobre plântulas de pessegueiro, sugeriram que a estimulação do crescimento das raízes e diminuição do número de raízes laterais, causadas pela concentração de 666 μM de alumínio, foram devidas a uma alteração na distribuição de um regulador de crescimento. Deve-se registrar que o cultivar P 70354 apresentou uma diminuição linear no comprimento das raízes em resposta aos níveis crescentes de alumínio, sem que os pesos da matéria seca das raízes e partes aéreas sofressem quaisquer influências.

Um comportamento peculiar apresentaram os cultivares C 33, CNT2 e PAT 24 pois sofreram uma diminuição linear nos pesos de matéria seca das partes aéreas em resposta aos níveis crescentes de alumínio, enquanto que os pesos de matéria seca das raízes não foram influenciados, e os comprimentos das raízes foram maiores em presença do alumínio do que na ausência. Alguns resultados semelhantes foram obtidos por LIEBIG *et alii* (1942), onde as concentrações de 93 e 185 M de alumínio estimularam o crescimento das raízes, mas exerceram efeitos inibidores no crescimento das partes aéreas de plantas de citrus. É difícil determinar as causas desse comportamento, mas algumas são sugeridas. SALINAS & SANCHEZ (1976), estudando diferenças entre espécies e variedades em tolerar altos níveis de alumínio e baixos níveis de fósforo, dentre outros aspectos, constataram que o principal efeito da toxidez de alumínio se traduziu por uma marcante redução da raiz, enquanto que o principal efeito da deficiência de fósforo foi a redução do crescimento das partes aéreas. Outra hipótese, pouco estudada, é a que relaciona alumínio com fotossíntese, que é uma função inteiramente executada pelas partes aéreas. OTA (1968), pesquisando uma doença fisiológica do arroz, denominada "bronzing" e atribuída ao alumínio, constatou que a taxa fotossintética nas folhas doentes de-

creceu a cerca de 3/4 das folhas normais, tendo havido um aumento na taxa respiratória.

Na avaliação do grau de tolerância ao alumínio, existe forte tendência de os pesquisadores usarem o comprimento das raízes para averiguarem os efeitos do citado elemento (MESDAG & SLOOTMAKER, 1969; KERRIDGE *et alii*, 1971; HOWELLER & CADAVID, 1976; SALINAS & SANCHEZ, 1976; LAFEVER *et alii*, 1977). No entanto, somente a consideração desse parâmetro pode levar a conclusões erráticas, como se pode depreender analisando-se o comportamento do cultivar PF 70354, que teve o comprimento de suas raízes diminuído, numa tendência linear, à medida que aumentou a concentração do alumínio, embora os pesos de matéria seca das raízes e das partes aéreas não fossem afetados. Usando-se o comprimento das raízes como único parâmetro de avaliação, o cultivar PF 70354 seria considerado suscetível, porém, levando-se em consideração o peso da matéria seca das raízes e das partes aéreas, o citado cultivar deverá situar-se entre as mais tolerantes.

Na Tabela 7 estão apresentadas as concentrações estimadas de alumínio necessárias para produzir 80% do comprimento das raízes, peso da matéria seca das raízes e peso da matéria seca das partes aéreas, considerando-se 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio. Para os parâmetros que não tiveram significância estatística os valores aparecem como >10 ppm.

Com base nos valores apresentados na Tabela 7 e adotando-se os pressupostos a seguir descritos, os cultivares foram divididos em 4 grupos, diminuindo o grau de tolerância do grupo 1 para o grupo 4:

Grupo 1 - altas concentrações de alumínio foram necessárias para produzir valores de comprimento e de peso da matéria seca das raízes e partes aéreas correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio;

Grupo 2 - baixas ou médias concentrações de alumínio foram necessárias para produzir valores de peso da matéria seca das partes aéreas, correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio. No entanto, altas concentrações de alumínio foram

Tabela 7 - Concentrações estimadas de alumínio na solução nutritiva necessárias para fornecer valores correspondentes a 80% do comprimento das raízes de matéria seca das raízes e partes aéreas dos cultivares de trigo, considerando como 100% os valores correspondentes ao tratamento sem alumínio

CULTIVAR	Al ppm		
	RAÍZES		PARTES AÉREAS
	Compr.	Mat. seca	Mat. seca
Sonora 63 P	0,44	0,54	3,41
Super x	1,38	0,94	2,16
Sonora 63 C	0,54	1,15	3,87
Yecora	8,78	8,66	5,24
LA 1549	5,64	6,29	5,03
IAS 20	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 54	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 55	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 57	10,23	10,00	7,73
IAS 58	9,92 ⁽¹⁾	7,42	4,78
IAS 60	>10,00	>10,00	>10,00
IAS 61	12,03	10,18	5,70
IAS 63	linear b ⁺ (²)	>10,00	>10,00
IAS 64	11,00	5,14	1,43
C 33	12,81	>10,00	8,23
Toropi	10,28 ⁽³⁾	6,74	6,17
Frontana	>10,00	>10,00	9,81
CNT1	linear b ⁺ (²)	>10,00	>10,00
CNT2	11,54	10,00	7,11
Nobre	>10,00	>10,00	9,66
PF 70354	9,12	>10,00	>10,00
PF 70546	>10,00	>10,00	>10,00
Pel 72018	9,72	5,47	7,63
Pel 72083	9,77	9,95	1,42
Maringã	11,58	>10,00	4,26
Horto	15,40	>10,00	>10,00
Coxilha	10,02	>10,00	>10,00
Londrina	10,04	>10,00	9,68
PAT 19	12,54	>10,00	>10,00
PAT 24	13,06	>10,00	2,75

(¹) De acordo com a tabela 5 o ponto de mínimo (9,92 ppm Al) corresponde a 98,7% do comprimento de raízes sem Al.

(²) De acordo com a tabela 5 o comprimento das raízes aumenta em função das concentrações crescentes de Al.

(³) De acordo com a tabela 5 o ponto de mínimo (10,28 ppm Al) corresponde a 88,0% do comprimento das raízes sem Al.

necessárias para produzir o mesmo efeito com relação aos valores de comprimento e peso da matéria seca das raízes;

Grupo 3 - baixas ou médias concentrações de alumínio foram necessárias para produzir valores de peso de matéria seca das raízes e das partes aéreas correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio. No entanto, altas ou médias concentrações de alumínio foram necessárias para produzir o mesmo efeito com relação aos valores de comprimento das raízes;

Grupo 4 - baixas concentrações de alumínio foram suficientes para produzir valores de comprimento das raízes, peso da matéria seca das raízes e das partes aéreas correspondentes a 80% do tratamento sem alumínio.

Consideraram-se altas concentrações de alumínio aquelas superiores a 10,00 ppm; médias, as concentrações situadas entre 5,00 e 10,00 ppm, e baixas, as concentrações inferiores a 5,00 ppm.

Observando-se os dados da Tabela 7 e obedecendo aos critérios descritos, enquadraram-se em cada grupo os seguintes cultivares:

Grupo 1 - IAS 20, IAS 54, IAS 55, IAS 60, IAS 63, CNT1, PF 70354, PF 70546, Horto, Coxilha e PAT 19;

Grupo 2 - IAS 57, IAS 61, C 33, Frontana, CNT2, Nobre, Maringá, Londrina e PAT 24;

Grupo 3 - Yecora, LA 1549, IAS 58, IAS 64, Toropi, Pel 72018 e Pel 72083;

Grupo 4 - Sonora 63 P, Sonora 63 C e Super x.

Alguns cultivares usados no presente estudo também foram incluídos em outras pesquisas, que efetuaram a avaliação do que de tolerância ao alumínio.

FOY *et alii* (1965) classificaram 27 cultivares de trigo de acordo com o peso das partes aéreas após um período de crescimento de 50 dias em solos ácidos contendo elevadas con-

centrações de alumínio. Os resultados alcançados permitiram distinguir 5 grupos: o grupo dos cultivares mais tolerantes incluía o cultivar Frontana, além da Fronteira e Frondoso.

MESDAG & SLOOTMAKER (1969), através de seu método de terminação de tolerância à acidez do solo, usando os grupos 1, 3, 5, 7 e 9, onde o grupo 1 corresponde ao mais tolerante e o 9 ao mais suscetível, classificaram o cultivar Frontana no grupo 3, e o cultivar Sonora 63 no grupo 9.

SOUZA & GOMES (1971), testando uma coleção de 69 cultivares de vários países quanto à tolerância ao alumínio em condições de campo, em uma escala de 1 a 5 (1 = resistente e 5 = altamente suscetível), classificaram o cultivar Nobre no grupo 1, IAS 54 no grupo 2, e Super x no grupo 4.

SALINAS & SANCHEZ (1976), trabalhando com solução nutritiva, verificaram que os cultivares Maringã e Toropi foram mais tolerantes ao alumínio do que o cultivar Sonora 63.

MUZILLI *et alii* (1978), através de um experimento de campo, utilizando 3 níveis de calagem e adotando como critério de avaliação da tolerância a porcentagem de saturação de alumínio necessária para ocasionar 80% da produção máxima de grãos obtida através de análise de regressão, classificaram os 20 cultivares de trigo estudados em 5 grupos (muito tolerante, tolerante, medianamente tolerante, sensível e muito sensível). Os cultivares Maringã, IAS 20 e IAS 54 foram classificados como muito tolerantes; PF 70546 como tolerante; IAS 58 medianamente tolerante, e Londrina, sensível.

SUMMARY

ALUMINUM AND MANGANESE TOLERANCE OF WHEAT (*Triticum aestivum* L.) CULTIVARS. I. SCREENING FOR ALUMINUM TOLERANCE

Thirty wheat cultivars were evaluated by means of cultures in nutritive solutions containing 0.0. (check), 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 ppm of Al, under greenhouse conditions.

After 12 days in the nutritive solutions, the length and dry matter weight of roots, as well as dry matter weight, of aerial parts were measured.

Considering as 100% the data estimated from the check treatments, the Al concentrations needed to produce 80% of dry matter (roots and aerial parts) and root length were calculated through regression equations.

According to the results, 4 groups of tolerance were established.

LITERATURA CITADA

- BROWN, J.C.; AMBLER, J.E.; CHANEY, R.L.; FOY, C. D., 1972. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. In: DINAUER, R.C., ed., *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Soil Sci. Soc. Amer., Inc., p.389-418.
- CLARK, R.B.; BROWN, J.C., 1974. Differential phosphorus uptake by phosphorus stressed corn inbreds. *Cro Sci.* **14**:505-508.
- EDWARDS, J.H.; HORTON, B.D.; KIRKPATRICK, 1976. Aluminum toxicity symptoms in peach seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **101**: 139-142.
- FOY, C.D.; ARMIGER, W.H.; BRIGGLE, L.W.; REID, D. A., 1965. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soil. *Agron. J.* **57**: 413-417.
- FOY, C.D., 1974. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. *The Plant-Root and its Environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, p.601-642.
- HOWELLER, R.H.; CADAVID, L.F., 1976. Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agron. J.* **68**:551-555.
- JACKSON, W.A., 1967. Physiological effects of soil acidity.

- In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., ed., Soil Acidity and Liming, Madison, American Society of Agronomy Publisher, p.43-123.
- KERRIDGE, P.C.; DAWSON, M.D.; MOORE, D.P., 1971. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. *Agron. J.* **63**: 586-591
- LAFEVER, H.V.; CAMPBELL, L.G.; FOY, C.D., 1977. Differential responses of wheat cultivars to Al. *Agron. J.* **69**: 563-568.
- LIEBIG, G.F., Jr.; VANSELOW, A.P.; CHAPMAN, H. D., 1942. Effects of aluminum on copper toxicity, as revealed by solution culture and spectrographic studies of citrus. *Soil Sci.* **53**: 341-351.
- MESDAG, J.C.; SLOOTMAKER, L.A.J., 1969. Classifying wheat varieties for tolerance to high soil acidity. *Euphytica* **18**: 36-45.
- MUZILLI, O.; SANTOS, D.; PALHANO, J.B.; MANETTI, J., Fº, LAN TMANN, A.F.; GARCIA, A.; CATANEO, A., 1978. Tolerância de cultivares de soja e de trigo a acidez do solo. *R. Bras. Ci. Solo* **2**: 34-40.
- OTA, Y., 1968. Mode of the occurrence of bronzing in rice plant. *JARQ.* **1**: 1-5.
- SALINAS, J.G.; SANCHEZ, P.A., 1976. Tolerance to aluminum toxicity and available soil phosphorus. In: Soil Science Department, North Carolina State University, Agronomic Economic Research on Tropical Soils. Annual Report for 1975. 50-65.
- SOUZA, C.N.A.; GOMES, E.P. Reação de variedades de trigo ao crestamento em condições de campo. In: Reunião Anual Conjunta de Pesquisa do Trigo, III Curitiba, Ministério da Agricultura, 5p. (Mimeografado)

