



# BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agrônomo, Campinas

Vol. 40

Campinas, fevereiro de 1981

Artigo n.º 4

## MELHORAMENTO DO TRIGO.

### I. HEREDITARIEDADE DA TOLERÂNCIA À TOXICIDADE DO ALUMÍNIO

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO <sup>(1)</sup>, *Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônomo*

#### RESUMO

Quatro cultivares de trigo mostrando diferentes reações para a toxicidade de alumínio em condições de campo e apresentando grande variação em altura, foram estudados em solução nutritiva, utilizando-se diferentes concentrações de alumínio. O cultivar BH-1146, de porte alto, foi tolerante a 10 ppm de alumínio; o 'Atlas-66', também de porte alto, mostrou tolerância a 6 ppm, mas apresentou pequena tolerância a 10 ppm de alumínio. O 'Tordo', originário do cultivar Tom Thumb, uma fonte de nanismo, foi tolerante a 2 ppm, mas totalmente suscetível a 6 ppm de alumínio. O 'Siete Cerros', semi-anão e de origem mexicana, derivado do cultivar Norin-10, foi sensível a 2 ppm de alumínio. Pais, gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> dos cruzamentos entre esses cultivares, e em alguns casos, incluindo também os retrocruzamentos para ambos os pais, foram testados em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de alumínio. Os resultados obtidos mostraram que, para 2 ppm de alumínio, o cultivar Tordo diferiu do 'Siete Cerros' por um par de genes dominantes para tolerância; para 3 ppm, o cultivar BH-1146 apresentou um par de genes e 'Atlas-66', dois pares de genes dominantes para tolerância quando foram cruzados com os cultivares Siete Cerros e Tordo; para 6 ppm de Al, quando os cultivares BH-1146 e Atlas-66 foram cruzados entre si, mostraram ter um par de genes dominantes para tolerância cada um; o mesmo cruzamento entre o cultivar BH-1146 e Atlas-66 estudado a 10 ppm mostrou que 'BH-1146' diferiu do 'Atlas-66', que foi suscetível a essa concentração de alumínio, por um par de genes dominantes para tolerância. Os estudos das diferentes populações híbridas mostraram que a maioria dos genótipos heterozigotos testados a 6 e 10 ppm de alumínio, os quais eram esperados ser totalmente representados por plantas tolerantes, apresentaram também plantas sensíveis nas populações estudadas, sugerindo que o par ou pares de genes responsáveis pela tolerância a essas concentrações mostrou uma quebra gradual da dominância à medida que a concentração de alumínio foi aumentada.

<sup>(1)</sup> Trabalho parcialmente desenvolvido na Universidade Estadual de Oregon, E.U.A. Recebido para publicação a 7 de março de 1980.

<sup>(2)</sup> Com bolsa de suplementação do CNPq.

## 1. INTRODUÇÃO

A toxicidade devida ao alumínio limita a produção de trigo em muitas terras agricultáveis, além de impedir a expansão da área mundial cultivada com esse cereal. A maioria dos cultivares tolerantes originou-se por seleção natural onde esse elemento é encontrado em quantidades tóxicas no solo. Entretanto, apesar da tolerância ao alumínio, esses cultivares apresentam baixo potencial de produção associado a plantas muito altas que, em geral, mostram problemas de acamamento. A possibilidade de introdução de tolerância à toxicidade de alumínio em cultivares de alto potencial de produção é de grande relevância para aumentar a produção de trigo, importante alimento para o mundo.

MESDAG et alii (7), testando cerca de trezentos cultivares de trigo em solo com alta acidez, concluíram que 'Colônias', um cultivar brasileiro, foi o melhor, e 'Thatcher', originário dos Estados Unidos, o pior. A diferença em tolerância ao alumínio dos cultivares de trigo Atlas-66 (tolerante) e Monon (suscetível) foi associada com danos morfológicos nas pontas das raízes primárias e laterais (2). Excesso de alumínio afetou primeiramente o crescimento da raiz e, a seguir, a parte aérea da planta como resultado de perda da função radicular. Foi mostrado que o alumínio em baixa concentração estimula inicialmente o crescimento da raiz em algumas espécies, porém em poucos dias aparecem os sintomas de toxicidade. Entretanto, foi notado como exceção que o cultivar BH-1146, originário do Brasil, mostrou melhor desenvolvimento das raízes na pre-

sença de pequenas quantidades de alumínio do que na ausência desse íon (8). KERRIDGE (3) afirmou que o efeito primário da toxicidade de alumínio no trigo é a paralisação do crescimento da raiz (inibição da elongação da raiz).

Aproximadamente cinquenta cultivares foram separados pela sua tolerância ao alumínio em solução nutritiva por KERRIDGE et alii (5), os quais foram classificados nos três grupos seguintes: 1.º) tolerantes em 6,4ppm; 2.º) tolerantes em 2,4ppm, mas sensíveis a 6,4ppm, e 3.º) sensíveis a 2,4ppm.

LAFEVER et alii (6), trabalhando com 43 cultivares de trigo e linhagens experimentais para determinar a resposta diferencial a altos níveis de alumínio trocável, encontraram classes de cultivares tolerantes e sensíveis e muitas das linhagens experimentais exibiram graus intermediários de tolerância, indicando que esse fator não tinha um comportamento genético simples.

KERRIDGE & KRONSTAD (4) observaram uma segregação semelhante à de um simples par de genes dominantes para a tolerância ao alumínio em um cruzamento entre os cultivares de trigo 'Druchamp' (moderadamente tolerante) e 'Brevor' (sensível). Argumentaram eles que um ou mais genes dominantes com vários genes modificadores poderiam estar envolvidos na hereditariedade da tolerância ao alumínio.

Foi demonstrado por vários pesquisadores (1, 3, 5, 6) que, para a separação das classes de tolerância ao alumínio, em trigo, o emprego de solução nutritiva permite imediata

observação dos efeitos da injúria de alumínio, pela inibição do crescimento da raiz, evitando-se os inconvenientes do uso de solo onde a intensidade de seleção não pode ser quantitativamente controlada e outros fatores, além do alumínio, possam estar envolvidos.

Os objetivos deste estudo foram:

1) determinar a reação diferencial à toxicidade de alumínio, em solução nutritiva, entre dois cultivares de trigo, com porte alto, mostrando tolerância ao alumínio em condições de solo, e dois cultivares sensíveis ao alumínio nas mesmas condições, porém sendo de porte baixo e portadores de duas diferentes fontes genéticas de nanismo; 2) obter informação sobre a melhor fonte de tolerância ao alumínio e o tipo de ação genética envolvida na expressão da tolerância, considerando-se crescentes concentrações de alumínio.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

Os cultivares de porte alto BH-1146 e Atlas-66, selecionados no Instituto Agrônomo de Belo Horizonte e na Universidade de Carolina do Norte, nos E.U.A., respectivamente o cultivar mexicano semi-anão Siete Cerros, derivado da fonte de nanismo Norin-10, e o cultivar Tordo, derivado da fonte de nanismo Tom Thumb, foram submetidos a diferentes concentrações de alumínio em soluções nutritivas. A técnica usada para a avaliação da reação diferencial entre os quatro cultivares foi a mesma citada por CAMARGO (1) e transcrita a seguir:

As sementes dos quatro cultivares de trigo foram cuidadosamente lavadas com uma solução de hipoclo-

rito de sódio a 10%, e colocadas para germinar em caixas de Petri por 24 horas. Após esse tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

Foram escolhidas quarenta sementes de cada cultivar e colocadas sobre o topo de quatro telas de náilon que foram postas em contato com as soluções nutritivas existentes em quatro vasilhas plásticas de 8,30 litros de capacidade cada uma.

A composição final da solução nutritiva referida como "solução base" foi a seguinte:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  4mM;  $\text{MgSO}_4$  2mM;  $\text{KNO}_3$  4mM;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0,435mM;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0,5mM;  $\text{MnSO}_4$  2 $\mu\text{M}$ ;  $\text{CuSO}_4$  0,3 $\mu\text{M}$ ;  $\text{ZnSO}_4$  0,8 $\mu\text{M}$ ;  $\text{NaCl}$  30 $\mu\text{M}$ ;  $\text{Fe-CYDTA}$  10 $\mu\text{M}$ ;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0,10 $\mu\text{M}$  e  $\text{H}_3\text{BO}_3$  10 $\mu\text{M}$ . O nível da solução na vasilha plástica foi tal de modo a tocar a parte de baixo da tela de náilon, de maneira que as sementes foram mantidas úmidas e as radículas emergentes tinham um pronto suprimento de nutrientes. O pH da solução foi previamente ajustado para 4,00 com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N.

A solução foi continuamente aerificada e as vasilhas plásticas contendo as soluções foram colocadas em banho-maria com temperatura de  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  dentro do laboratório. O experimento foi mantido com luz artificial em sua totalidade. As plantas desenvolveram-se nessas condições por 48 horas. Após esse período, cada plântula tinha três raízes primárias, uma mais longa medindo cerca de 4,5cm e duas mais curtas, localizadas lateralmente à primeira. Cada uma das quatro telas de náilon contendo quarenta plântulas de cada um dos quatro cultivares foi transferida para soluções tratamentos.

A composição das soluções tratamentos foi basicamente um décimo da solução base, exceto que o fósforo foi omitido e o ferro foi adicionado em quantidade equivalente como  $\text{FeCl}_3$  no lugar do Fe-CYDTA, como foi descrito por Moore et alii, citados por CAMARGO (1). O fósforo foi omitido para evitar a possível precipitação do alumínio como  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Antes de transferir as telas para as soluções tratamentos,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  foi adicionado para trazer o pH para cerca de 4,2 e então a necessária quantidade de alumínio na forma de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  foi adicionada. Cada uma das quatro soluções tratamentos recebeu uma quantidade de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , de modo que contivesse, respectivamente, 0, 3, 6 e 10ppm de Al. O pH final da solução foi ajustado para 4,0 com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , evitando-se adicionar, NaOH, que poderia causar a precipitação do alumínio, pelo menos no local de queda da gota.

As plântulas ficaram crescendo por 48 horas nas respectivas soluções tratamentos. No final desse período, a raiz primária de cada **seedling** foi medida e então transferida de volta para o vasilhame contendo solução nutritiva (solução base) onde as plantas cresceram nas primeiras 48 horas.

As plântulas permanecerem crescendo na solução base por 72 horas. O crescimento da raiz, após as 72 horas na solução base, depende da severidade da prévia solução tratamento. Com uma quantidade tóxica de alumínio, as raízes primárias não crescem mais e permanecem grossas, mostrando no ápice uma injúria típica com descoloramento. A quantidade de crescimento da raiz foi determinada, medindo-se novamente o comprimento da raiz de cada plântula no final das

72 horas na solução base e subtraindo-se o comprimento da mesma raiz medida no final de crescimento na respectiva solução tratamento.

Durante todo o experimento o pH das soluções foi mantido o mais próximo possível de 4,0 com ajustamento diário.

O delineamento utilizado foi em parcelas subdivididas com duas repetições. Cada repetição foi formada por quatro parcelas representadas pelas concentrações de alumínio; cada parcela foi dividida em subparcelas representadas por quarenta plântulas de cada um dos quatro cultivares em estudo.

Para a comparação entre as médias dos cultivares dentro de uma mesma concentração de alumínio, foi utilizado o teste de Tukey.

Os cultivares BH-1146, Atlas-66, Siete Cerros e Tordo, considerados pais, os cruzamentos resultantes entre eles em geração  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $\text{RC}^a$  (retrocruzamentos para o pai alto) e  $\text{RC}^b$  (retrocruzamentos para o pai baixo) foram testados para as suas tolerâncias a diferentes concentrações de alumínio tóxico, empregando-se a mesma técnica descrita anteriormente.

Para os cruzamentos entre os cultivares tidos como tolerantes (BH-1146 e Atlas-66) e sensíveis (Siete Cerros e Tordo), foram usados 3 e 6 ppm de alumínio nas soluções nutritivas tratamentos.

No estudo dos cruzamentos entre os cultivares Siete Cerros e Tordo, empregaram-se 2 e 3ppm de alumínio nas soluções tratamento.

Para os híbridos entre os pais tolerantes foram adicionados 6 e 10ppm de alumínio nas soluções tratamentos.

Após o teste usando-se 6ppm de alumínio, foram selecionadas plântulas dos cultivares BH-1146 e Siete Cerros, bem como das gerações F<sub>2</sub>, RC<sup>a</sup> e RC<sup>b</sup> originárias dos cruzamentos entre eles e transplantadas para vasos numa casa de vegetação. As progênies dessas plantas foram testadas novamente a 3 e 6ppm para determinar as suas reações ao alumínio. As freqüências de plantas tolerantes e sensíveis foram computadas com base nas reações de tolerância (crescimento da raiz após um período de 48 horas em solução contendo uma concentração conhecida de alumínio) e suscetibilidade (paralisação do crescimento da raiz nas mesmas condições). O teste de quiquadrado foi utilizado para comparar as freqüências obtidas e esperadas pela hipótese de segregação de um par ou dois pares de genes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento médio das raízes, em milímetro, das plântulas dos cultivares estudados 72 horas em solução nutritiva completa, após terem sido

cultivadas em solução nutritiva contendo 0, 3, 6 e 10ppm de alumínio, encontram-se no quadro 1.

A análise de variância mostrou diferenças altamente significativas pelo teste F para concentrações de alumínio, cultivares e interação concentrações de alumínio x cultivares.

A diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5% foi de 6,8mm para a comparação dos quatro cultivares dentro de uma mesma concentração de alumínio. Para a comparação das médias de um mesmo cultivar nas diferentes concentrações de alumínio, a diferença mínima significativa foi de 6,0mm.

As diferenças nos comprimentos das raízes dos quatro cultivares testados com 0ppm de Al sugerem que há grande variabilidade entre os cultivares estudados em relação ao crescimento da raiz em solução nutritiva.

'BH-1146' mostrou os maiores valores de crescimento médio após os tratamentos com diferentes concentrações de alumínio, vindo a seguir os cultivares Atlas-66, Tordo e Siete

QUADRO 1 — Efeito comparativo de diferentes concentrações de alumínio na média de crescimento das raízes de quatro cultivares de trigo, em 72 horas em solução nutritiva completa, após 48 horas em solução nutritiva contendo diferentes níveis de alumínio

Cultivar	Crescimento das raízes			
	0 ppm de Al	3 ppm de Al	6 ppm de Al	10 ppm de Al
	mm	mm	mm	mm
BH-1146	65,2	58,3	41,8	35,6
Atlas-66	56,6	33,2	21,5	3,3
Tordo	44,1	23,1	0,0	0,0
Siete Cerros	37,1	0,0	0,0	0,0

Cerros. Essa ordem se conservou após os vários tratamentos em soluções contendo alumínio. 'Siete Cerros' foi sensível a 3ppm de alumínio, 'Tordo' foi suscetível a 6ppm e 'Atlas-66' apresentou pequena tole-

rância a 10ppm quando comparado com 'BH-1146'.

Os resultados dos cruzamentos entre os cultivares tolerantes e sensíveis a 6ppm de alumínio encontram-se no quadro 2. A 3ppm de Al a popu-

QUADRO 2 — Reações à toxicidade de alumínio, obtidas a 3 e 6 ppm de Al, para cultivares de trigo tolerantes e sensíveis e para diferentes gerações híbridas entre os mesmos, expressas em número de plantas tolerantes (Tol.) e número de plantas sensíveis (Sens.) ao alumínio tóxico

Cultivar ou cruzamento	Concentração de alumínio (ppm)					
	3			6		
	Tol.	Sens.	Proporção esperada	P (*)	Tol.	Sens.
	n.º	n.º			n.º	n.º
BH-1146	42	0			150	0
Atlas-66	48	0			150	0
Siete Cerros	0	40			0	150
Tordo	27	32			0	150
BH-1146/Siete Cerros						
F <sub>1</sub>	60	1			101	49
F <sub>2</sub>	86	26	3:1	0,75-0,50	141	159
RC <sup>a</sup>					122	28
RC <sup>b</sup>					28	122
BH-1146/Tordo						
F <sub>1</sub>	25	7			60	90
F <sub>2</sub>	110	29	3:1	0,50-0,25	161	139
RC <sup>a</sup>					100	50
RC <sup>b</sup>					29	121
Atlas-66/Siete Cerros						
F <sub>1</sub>	24	4			107	43
F <sub>2</sub>	127	8	15:1	0,90-0,75	205	95
RC <sup>a</sup>					124	26
RC <sup>b</sup>					58	92
Atlas-66/Tordo						
F <sub>1</sub>	25	0			72	78
F <sub>2</sub>	145	5	15:1	0,25-0,10	175	125
RC <sup>a</sup>					125	25
RC <sup>b</sup>					58	92

(\*) P = Probabilidade de sucesso entre as freqüências obtidas e esperadas pela hipótese de segregação de um ou dois pares de genes.

lação  $F_2$  dos cruzamentos: BH-1146/Siete Cerros e BH-1146/Tordo segregou em proporções de 86:26 e 110:29 de plântulas tolerantes para sensíveis respectivamente. Essas segregações se aproximaram da proporção esperada 3:1 com os valores de probabilidade de 0,75-0,50 e 0,50-0,25, respectivamente, de não terem ocorrido ao acaso. Esses resultados sugerem que o cultivar BH-1146 carrega um par de genes dominantes para tolerância à toxicidade de alumínio. Ainda considerando-se 3ppm de alumínio as populações  $F_2$  dos cruzamentos: Atlas-66/Siete Cerros e Atlas-66/Tordo segregaram 127:8 e 145:5 respectivamente. Comparando-se essas observações com a segregação esperada 15:1 (plântulas tolerantes: sensíveis) pelo teste de quiquadrado, verificou-se que os dados obtidos se aproximaram da proporção esperada com os valores de probabilidade de 0,90-0,75 e 0,25-0,10 respectivamente de não terem ocorrido ao acaso. Tais resultados sugerem que o cultivar Atlas-66 carrega dois pares de genes dominantes para tolerância à toxicidade devida a 3ppm de alumínio. Quando as mesmas populações  $F_2$  foram testadas a 6ppm de Al, as proporções entre plantas tolerantes e sensíveis diferiram bastante em relação àquelas testadas a 3ppm de Al. Houve um aumento relativo do número de plantas sensíveis, comparando-se com o das tolerantes. Observando-se em conjunto as populações  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $RC^a$  e  $RC^b$  testadas a 6ppm de Al, os resultados sugerem que houve uma quebra gradual da dominância de determinado gene ou de complexo de genes transmitidos em bloco, responsáveis pela reação de tolerância, à medida que se aumentaram as concentrações de alumínio.

Os resultados dos cruzamentos entre os cultivares tolerantes a 6ppm de Al, BH-1146 e Atlas-66 testados a 6 e 10ppm encontram-se no quadro 3.

A 6ppm, a população  $F_2$  do cruzamento BH-1146/Atlas-66 segregou, na proporção 281:19, tolerantes: sensíveis. Os dados obtidos concordaram com a proporção esperada de 15:1 com uma probabilidade de não serem ao acaso, pelo teste de quiquadrado, de 0,98-0,95, sugerindo que o par de gene dominante para tolerância ao alumínio carregado pelo cultivar BH-1146 é diferente daquele carregado pelo cultivar Atlas-66.

Na concentração de 10ppm de Al, o cultivar Atlas-66 começa a mostrar plantas sensíveis, tal como 'Tordo' a 3ppm (quadro 2). Esse fato sugere que o par de genes de 'Atlas-66', que condicionava tolerância a 6ppm, não estava mais atuando a 10ppm. Esta hipótese pode ser confirmada pela população  $F_2$  do cruzamento BH-1146/Atlas-66 que segregou 61 plantas tolerantes para dezoito plantas suscetíveis a 10ppm. A proporção esperada era de 12:4 (tolerantes: sensíveis) e há 0,75-0,50 de probabilidade de que a concordância entre a proporção obtida e a esperada não seja ao acaso. Esses dados sugerem que o par de genes para tolerância encontrado no cultivar BH-1146 ainda é eficiente mesmo a 10ppm de alumínio.

Os híbridos entre os cultivares Tordo e Siete Cerros, sensíveis a 6ppm de Al, foram testados a 2 e 3ppm de Al, encontrando-se os resultados no quadro 4.

A 2ppm de Al a população F<sub>2</sub> do cruzamento 'Tordo'/'Siete Cerros' segregou quarenta plantas tolerantes e doze sensíveis. Essa proporção está

de acordo com a esperada 3:1 (tolerantes: sensíveis) com a probabilidade de 0,75-0,50 de que não seja ao acaso. Isso sugere que 'Tordo'

QUADRO 3 — Reações à toxicidade de alumínio dos cultivares paternos de trigo e gerações híbridas do cruzamento BH-1146/Atlas-66 (ambos tolerantes a 6 ppm de Al) expressos em número de plantas tolerantes (Tol.) e número de plantas sensíveis (Sens.) ao alumínio tóxico

Cultivar ou cruzamento	Concentração de alumínio (ppm)							
	6				10			
	Tol.	Sens.	Proporção esperada	P (*)	Tol.	Sens.	Proporção esperada	P (*)
	n.º	n.º			n.º	n.º		
BH-1146	150	0			24	0		
Atlas-66	150	0			22	18		
BH-1146/Atlas-66								
F <sub>1</sub>	146	4			9	6		
F <sub>2</sub>	281	19	15:1	0,98-0,95	61	18	12	

(\*) P = Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese de segregação de um ou dois pares de genes.

QUADRO 4 — Reações à toxicidade de alumínio dos pais e diferentes gerações do cruzamento Tordo/Siete Cerros (ambos suscetíveis a 6 ppm de Al), expressos em número de plantas tolerantes (Tol.) e número de plantas sensíveis (Sens.) ao alumínio tóxico

Cultivar ou cruzamento	Concentração de alumínio (ppm)							
	2				3			
	Tol.	Sens.	Proporção esperada	P (*)	Tol.	Sens.	Proporção esperada	P (*)
	n.º	n.º			n.º	n.º		
Tordo	40	0			27	32		
Siete Cerros	0	40			0	40		
Tordo/Siete Cerros								
F <sub>1</sub>	28	0			7	20		
F <sub>2</sub>	40	12	3:1	0,75-0,50	17	40		

(\*) P = Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese de segregação de um par de genes.

carrega um par de genes dominantes para tolerância a 2ppm de Al em relação a 'Siete Cerros'.

A tolerância a baixos níveis de Al poderia ser interessante para aquelas situações onde esse elemento exista em pequenas frações no solo e a fonte de tolerância 'Tordo' seria utilizada, evitando-se o emprego de variedades de porte alto e de baixo potencial de produção como 'BH-1146' e 'Atlas-66'.

Para se ter melhor entendimento acerca do comportamento dos diferentes genótipos em relação à toxicidade do alumínio, o cruzamento 'BH-1146'/'Siete Cerros' foi escolhido. As progênies  $F_3$ ,  $(RC^a)_2$  e  $(RC^b)_2$ , oriundas de plantas testadas a 6ppm de Al, respectivamente, nas gerações  $F_2$ ,  $RC^a$  e  $RC^b$  foram testadas a 3 e 6ppm. Os resultados, que se encontram nos quadros 5 e 6, confirmaram os dados obtidos na geração anterior, mostrando que 'BH-1146'

QUADRO 5 — Reações à toxicidade de alumínio das progênies de plantas  $F_3$  do cruzamento 'BH-1146'/'Siete Cerros', expressas em número de plantas tolerantes (Tol.) e número de plantas sensíveis (Sens.) ao alumínio tóxico

'BH-1146'/'S. Cerros'	Concentração de alumínio (ppm)						
	3				6		
	Tol.	Sens.	Propor- ção esperada	P (*)	Tol.	Sens.	Teste anterior
Progênies $F_3$	n.º	n.º			n.º	n.º	
1	35	0	1:0	1,00	77	0	T
2	54	16	3:1	0,75-0,50	84	40	T
3	62	20	3:1	0,90-0,75	67	37	T
4	51	0	1:0	1,00	98	0	T
5	104	38	3:1	0,75-0,50	32	55	T
6	67	24	3:1	0,90-0,75	17	64	T
7	38	9	3:1	0,50-0,25	28	67	T
8	64	0	1:0	1,00	104	0	T
9	66	24	3:1	0,75-0,50	17	64	T
10	56	14	3:1	0,50-0,25	58	36	T
11	69	25	3:1	0,75-0,50	75	44	T
12	90	0	1:0	1,00	104	3	T
13	0	66	0:1	1,00	0	77	S
14	44	23	3:1	0,10-0,05	25	55	T
15	93	28	3:1	0,75-0,50	61	30	T
16	77	0	1:0	1,00	111	0	T
17	41	18	3:1	0,50-0,25	40	35	T
18	41	21	3:1	0,25-0,10	30	43	T
19	37	16	3:1	0,50-0,25	28	34	T
20	55	16	3:1	0,75-0,50	63	19	T
21	47	25	3:1	0,10-0,05	39	39	T

(\*) P = Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese de segregação de um par de genes.

carrega um par de genes dominantes para a tolerância a 3ppm.

As progêneses  $F_3$  de números 1, 4, 8, 12 e 16, e as progêneses  $F_2$  do  $BC_1$  de números 2 e 5 mostraram-se homozigotas para tolerância e comportaram-se do mesmo modo (todas as plantas tolerantes, à exceção da progênie 12) a 3 e 6ppm de alumínio.

A progênie  $F_3$  de número 13 e as progêneses dos  $(RC^b)_2$  de números 8 e 9, oriundos de plantas suscetíveis, mostraram-se homozigotas para suscetibilidade.

Algumas progêneses  $F_3$  que mostraram a proporção de 3:1 (tolerantes: sensíveis) a 3 ppm de Al, quando foram testadas a 10ppm, apresentaram

QUADRO 6 — Reações à toxicidade de alumínio das progêneses de plantas selecionadas nos retrocruzamentos 'BH-1146'<sup>2</sup>/'Siete Cerros' e 'BH-1146'/'Siete Cerros'<sup>2</sup>. Número de plantas tolerantes (Tol.) e número de plantas sensíveis (Sens.) ao alumínio tóxico

Progêneses $F_2$ dos retrocruzamentos	Concentração de alumínio (ppm)						Teste anterior
	3			6			
	Tol.	Sens.	Proporção esperada	P (*)	Tol.	Sens.	
	n.º	n.º			n.º	n.º	
<b>'BH-1146'<sup>2</sup>/'Siete Cerros'</b>							
1	92	24	3:1	0,50-0,25	44	54	T
2	74	0	1:0	1,00	101	0	T
3	85	37	3:1	0,25-0,10	27	69	T
4	84	27	3:1	0,90-0,75	59	34	T
5	104	0	1:0	1,00	191	0	T
6	58	18	3:1	0,90-0,75	92	25	T
7	47	21	3:1	0,50-0,25	41	47	T
<b>'BH-1146'/'Siete Cerros'<sup>2</sup></b>							
1	68	25	3:1	0,75-0,50	59	81	T
2	60	19	3:1	0,95-0,90	51	57	T
3	76	30	3:1	0,50-0,25	30	70	T
4	36	13	3:1	0,90-0,75	11	47	T
5	66	22	3:1	1,00	66	42	T
6	51	23	3:1	0,25-0,10	39	30	T
7	51	20	3:1	0,75-0,50	56	52	T
8	0	69	0:1	1,00	0	97	S
9	0	76	0:1	1,00	0	75	S

(\*) P = Probabilidade de sucesso entre as frequências obtidas e esperadas pela hipótese de segregação de um par de genes.

QUADRO 7 — Relação genética entre quatro cultivares sugeridos pelos dados de tolerância à toxicidade de alumínio

Cruzamentos entre cultivares	Concentrações de alumínio	Segregação em F <sub>2</sub>
	ppm	
Tordo/Siete Cerros	2	3:1
BH-1146/Tordo	3	3:1
BH-1146/Siete Cerros	3	3:1
Atlas-66/Tordo	3	15:1
Atlas-66/Siete Cerros	3	15:1
BH-1146/Atlas-66	6	15:1
BH-1146/Atlas-66	10	12:4

a proporção 1:3 (tolerantes:sensíveis), o que indicou que para altas concentrações de alumínio os genótipos heterozigotos não condicionaram tolerância e somente o par de genes homozigotos dominantes poderia proporcionar a tolerância.

O quadro 7 sugere que 'BH-1146' é a melhor fonte para tolerância a altas doses de alumínio (10ppm). Para tolerância a 6ppm, 'Atlas-66' e 'BH-1146' poderiam ser utilizados. 'Tordo' poderia ser usado quando tolerância a baixos níveis (2ppm) fosse desejada.

A técnica empregada permite eliminar com rapidez e segurança plantas suscetíveis ao alumínio das populações segregantes.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram tirar as seguintes conclusões:

a) O cultivar BH-1146 foi tolerante a 10ppm de alumínio; o 'Atlas-66' mostrou tolerância a 6ppm, mas apresentou pequena tolerância a 10ppm de alumínio. O 'Tordo' foi tolerante a 2ppm, mas totalmente suscetível a 6ppm de alumínio. 'Siete Cerros' foi sensível a 2ppm de alumínio.

b) O cultivar BH-1146 diferiu do 'Atlas-66', 'Tordo' e 'Siete Cerros' por um par de genes dominantes para tolerância ao alumínio em solução nutritiva. Esse par de genes foi eficiente mesmo a 10ppm de alumínio, sendo, portanto, esse cultivar a melhor fonte de tolerância entre os estudados quando estão envolvidos altos níveis de alumínio.

c) O cultivar Atlas-66 apresentou dois pares de genes dominantes para tolerância ao alumínio, porém, à medida que a concentração de alumínio nas soluções tratamentos

umentou de 3 e 6 para 10ppm, esses pares de genes se tornaram menos eficientes em transmitir tolerância.

d) O cultivar Tordo, que diferiu de 'Siete Cerros' por um par de genes dominantes para tolerância, quando foram estudados em solução nutritiva contendo 2ppm de alumínio, poderia ser utilizado quando a tole-

rância a baixos níveis de alumínio fosse desejada.

e) Houve uma quebra gradual da dominância do par ou pares de genes transmitidos em bloco, responsáveis pela reação de tolerância à medida que se aumentou a concentração de alumínio para todas as populações híbridas estudadas.

#### WHEAT BREEDING.

### I — INHERITANCE OF TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY IN WHEAT

#### SUMMARY

Four wheat cultivars showing different reactions to Al toxicity under field conditions and presenting a great variation in plant height were screened in nutrient solution with different concentrations of aluminum. The tall Brazilian cultivar, 'BH-1146' was tolerant to 10 ppm of Al; 'Atlas-66' developed in North Carolina was tolerant to 6 ppm but moderately tolerant to 10 ppm of aluminum. The dwarf cultivar Tordo, a Tom Thumb source of dwarfism, was tolerant to 2 ppm but totally sensitive at 6 ppm. The Mexican semidwarf cultivar Siete Cerros, a Norin-10 derivative, was sensitive to 2 ppm of Al.

Parents,  $F_1$  and  $F_2$  generations from the crosses between tolerant ('BH-1146' and 'Atlas-66') and sensitive ('Tordo' and 'Siete Cerros') cultivars to 6 ppm were screened under 3 ppm and the same genotypes plus the backcrosses to both types of parents ( $BC^a$  and  $BC^b$ ) were screened at 6 ppm.

Parents,  $F_1$  and  $F_2$  progenies from  $BC^a$  and  $BC^b$  involving the cross BH-1146/Siete Cerros were retested under 3 and 6 ppm of Al.

Parents,  $F_1$  and  $F_2$  for the cross between 'BH-1146' and 'Atlas-66' were screened under 6 and 10 ppm of Al.

At 2 and 3 ppm of Al, parents,  $F_1$  and  $F_2$  from the cross Tordo/Siete Cerros were studied.

The results obtained suggest that 'BH-1146' differs from Atlas-66, Siete Cerros and Tordo by one pair of dominant gene. This pair of gene was efficient even at 10 ppm of aluminum, so should be used in a breeding program towards aluminum tolerance when high levels of this element are involved. The cultivar Atlas-66 showed to have two pairs of dominant genes for Al tolerance but when the aluminum concentration increased from 3 and 6 to 10 ppm these pairs of genes became less efficient. 'Tordo' differs from 'Siete Cerros' by a pair of dominant gene for tolerance at 2 ppm of Al. So 'Tordo' would be useful as a source of tolerance when low levels of aluminum are involved.

There was a gradual decrease of dominance of the pair or pairs of genes, or of the complex of genes which could be transmitted as a block, responsible for the tolerance reaction as the aluminum concentration in the nutrient solution increased for all hybrid populations under study.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMARGO, C. E. O. & OLIVEIRA, O. F. de. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, 40:21-31, 1981.
2. FLEMING, A. L. & FOY, C. D. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agronomy Journal*, 60:172-176, 1968.
3. KERRIDGE, P. C. Aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). Corvallis, Oregon State University, 1969. 170fls. (Tese de doutoramento)
4. ——— & KRONSTAD, W. E. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). *Agronomy Journal*, 60:710-711, 1968.
5. ———; DAWSON, M. D.; MOORE, D. P. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. *Agronomy Journal*, 63:586-591, 1971.
6. LAFEVER, H. N.; CAMPBELL, L. G.; FOY, C. D. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agronomy Journal*, 69:563-568, 1977.
7. MESDAG, J.; SLOOTMAKER, L. A.; POST JR., J. Linkage between tolerance to high soil acidity and genetically high protein content in the kernel of wheat, *Triticum aestivum* L. and its possible use in breeding. *Euphytica*, 19:163-174, 1976.
8. REID, D. A. Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress: aluminum and manganese toxicities in the cereal grains. In: Proceedings of workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils. Beltsville, Maryland, 1976. p.55-64.