

## II. GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS

### MELHORAMENTO DO TRIGO: XXVII. ESTIMATIVAS DE VARIÂNCIA, HERDABILIDADE E CORRELAÇÕES EM POPULAÇÕES HÍBRIDAS PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS, TOLERÂNCIA À TOXICIDADE DE ALUMÍNIO E ALTURA DAS PLANTAS <sup>(1)</sup>

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO <sup>(2,3)</sup>, ANTONIO WILSON PENTEADO FERREIRA FILHO <sup>(2,3)</sup> e LAÉRCIO SOARES ROCHA JÚNIOR <sup>(2)</sup>

#### RESUMO

Visando estimar a herdabilidade em sentido restrito para tolerância ao  $Al^{3+}$ , altura das plantas e produção de grãos, bem como as correlações entre essas características, foram efetuados cruzamentos entre os cultivares BH-1146, tolerante ao  $Al^{3+}$  e de porte alto; IAC-24, tolerante ao  $Al^{3+}$  e de porte semi-anão, e Anahuac, sensível ao  $Al^{3+}$  e de porte semi-anão. Plântulas representando os pais, as gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> e os retrocruzamentos para ambos os pais, foram testadas para a reação a 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  em solução nutritiva. As plantas, devidamente identificadas, foram transplantadas para vasos localizados no telado. Os valores da herdabilidade em sentido restrito para altura das plantas foram altos para os cruzamentos BH-1146 x Anahuac (0,732) e IAC-24 x Anahuac (0,799), e moderado para BH-1146 x IAC-24 (0,432). Para o caráter tolerância ao  $Al^{3+}$ , o valor da herdabilidade foi alto para o cruzamento BH-1146 x Anahuac (0,922) e moderado para os cruzamentos BH-1146 x IAC-24 (0,425) e IAC-24 x Anahuac (0,494). Os valores da herdabilidade para produção de grãos foram baixos para todos os cruzamentos, variando entre 0,037 e 0,195. As correlações fenotípicas entre a produção de grãos e a altura das plantas foram positivas e altamente significativas para todos os cruzamentos em estudo. As correlações fenotípicas entre produção de grãos e tolerância ao  $Al^{3+}$  foram não significativas para todos os cruzamentos, com exceção do BH-1146 x IAC-24, que foi positiva e altamente significativa. A correlação fenotípica entre a altura das plantas e a tolerância ao  $Al^{3+}$  foi somente significativa e positiva para o cruzamento BH-1146 x IAC-24. Os resultados sugerem somente ser possível selecionar plantas de porte semi-anão, tolerantes ao  $Al^{3+}$  e de alto potencial produtivo, desde que grandes populações segregantes sejam conduzidas para favorecer a identificação dos genótipos desejáveis originários das eventuais recombinações genéticas.

**Termos de indexação:** trigo, herdabilidade, altura das plantas, produção de grãos, toxicidade de alumínio, tolerância.

#### ABSTRACT

### WHEAT BREEDING: XXVII. VARIANCE, HERITABILITY AND CORRELATIONS IN HYBRID POPULATIONS FOR GRAIN YIELD, TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY AND PLANT HEIGHT

Crosses were made involving the cultivars: BH-1146, tall and aluminum tolerant, IAC-24, semidwarf and aluminum tolerant and Anahuac, semidwarf and aluminum sensitive. Parents, F<sub>1</sub>'s, F<sub>2</sub>'s and reciprocal backcrosses were tested for their seedling reaction to 6mg/l of  $Al^{3+}$  in nutrient solution, in laboratory

<sup>(1)</sup> Com recursos complementares do Acordo do Trigo entre as Cooperativas de Produtores Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, por meio do Instituto Agronômico. Resumo do trabalho apresentado no "Second International Symposium Plant-Soil Interactions at low pH, Berkeley, West Virginia, junho de 1990. Recebido para publicação em 5 de agosto de 1991 e aceito em 16 de março de 1992.

<sup>(2)</sup> Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas, SP.

<sup>(3)</sup> Com bolsa de pesquisa do CNPq.

condition, and evaluated for grain yield and plant height at maturity in an experiment using pots, under a screen house in 1988 conditions at Experimental Center of Campinas, State of São Paulo, Brazil. Narrow sense heritabilities estimates were moderate to high for plant height (0.432-0.799) and for aluminum tolerance (0.425-0.922) and low for grain yield (0.037-0.195). Phenotypic correlations between grain yield and plant height were positive and significant for all populations under study. Phenotypic correlations between grain yield and aluminum tolerance were non significant (except for the population BH-1146 x IAC-24). The phenotypic correlation between plant height and aluminum tolerance was only positive and significant for the population BH-1146 x IAC-24. Results suggest it would be possible to select semidwarf plants, with aluminum tolerance and with high yield potential if large segregating populations were used to identify desired genotypes originated from eventual recombinations.

**Index terms:** bread wheat, heritability, plant height, grain yield, aluminum toxicity, tolerance.

## 1. INTRODUÇÃO

Tem-se relatado que a altura das plantas em trigo é controlada por poucos genes; segundo Pao et al. (1944), três pares de genes. Outros pesquisadores obtiveram resultados mostrando que a altura das plantas de trigo seria devida a dois pares (Vogel et al., 1956).

Os graus de dominância calculados para altura das plantas em cruzamentos de quatro trigos de porte semi-anão com um cultivar de porte alto mostraram que os genes de porte baixo dos cultivares Siete Cerros, Vican-71 e Olesen tiveram um comportamento parcialmente recessivo, porém os genes do 'Tordo' exibiram dominância parcial para porte baixo, sendo este cultivar a melhor fonte, pela maior frequência de indivíduos de porte baixo nas populações avaliadas (Camargo & Oliveira, 1981b).

Os valores de heterose e heterobeltiose, calculados para produção de grãos, mostraram que o cruzamento entre o 'IAC-5' (porte alto) e o 'Vican-71' (porte semi-anão) apresentou grande potencial de produção, sugerindo ter esse híbrido alta capacidade específica de combinação (Camargo & Oliveira, 1981b).

Diferenças observadas para a tolerância ao  $Al^{3+}$  entre cultivares da mesma espécie sugeriram a possibilidade de se aumentar a tolerância ao  $Al^{3+}$  dos cultivares comerciais, através do melhoramento genético (Foy et al., 1965; Camargo et al., 1980; Camargo & Oliveira, 1983; Camargo, 1984a,b, 1987a,b).

Dados obtidos por Camargo et al. (1980) mostraram que seria possível selecionar plantas de trigo que combinavam tolerância ao  $Al^{3+}$ , porte semi-anão e alto potencial produtivo. Esses resultados foram confirmados com o lançamento do cultivar IAC-24, de porte semi-anão, de elevadas produções de grãos em solos ácidos (Felício et al., 1988).

Camargo (1981) demonstrou que a tolerância ao alumínio do trigo BH-1146 é devida a um par de genes dominantes em seus cruzamentos com cultivares sensíveis. Posteriormente, Lagos et al. (1984) concluíram que o gene de tolerância ao  $Al^{3+}$  no BH-1146 está localizado no cromossomo 4D.

O estudo das associações entre os componentes de uma população híbrida permite saber se eles são geneticamente dependentes ou independentes, isto é, se tendem ou não em permanecer associados nas progênes durante os sucessivos ciclos de seleção (Fonseca & Patterson, 1968, e Johnson et al., 1966).

Nas populações em F<sub>2</sub> dos cruzamentos entre o 'Alondra-S-46', de porte baixo e sensível ao  $Al^{3+}$ , com os cultivares altos e tolerantes: BH-1146, IAC-5 e C-3, a característica produção de grãos foi correlacionada positiva e significativamente com altura das plantas. Nessas populações, a tolerância ao  $Al^{3+}$  não foi associada com altura das plantas (fazendo exceção a proveniente do cruzamento Alondra-S-46 x IAC-5) e produção de grãos (Camargo, 1984c).

O presente trabalho tem por objetivo estudar a herdabilidade e as associações entre a tolerância a 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  em solução nutritiva, a altura das plantas e a produção de grãos, a partir de populações híbridas de trigo provindas de cruzamentos entre dois cultivares tolerantes ao  $Al^{3+}$ , sendo um de porte alto e o outro de porte semi-anão, e um cultivar de porte semi-anão e sensível à toxicidade de  $Al^{3+}$ .

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram estudados os seguintes cultivares: BH-1146 (P<sub>1</sub>), IAC-24 (P<sub>2</sub>) e Anahuac (P<sub>3</sub>). O 'BH-1146', de porte alto, e o 'IAC-24', de porte baixo, são

tolerantes à toxicidade de  $Al^{3+}$ , e o 'Anahuac', de porte baixo, é sensível a essa toxicidade (Camargo et al., 1987).

Foram obtidas as sementes  $F_1$  e  $F_2$  dos cruzamentos ( $P_1 \times P_2$ ), ( $P_1 \times P_3$ ) e ( $P_2 \times P_3$ ) e também as sementes dos seguintes retrocruzamentos: ( $P_1 \times P_2$ )  $\times P_1$ , ( $P_1 \times P_2$ )  $\times P_2$ , ( $P_1 \times P_3$ )  $\times P_1$ , ( $P_1 \times P_3$ )  $\times P_3$ , ( $P_2 \times P_3$ )  $\times P_2$  e ( $P_2 \times P_3$ )  $\times P_3$ .

Os parentais,  $F_1$ 's,  $F_2$ 's,  $RC_1$ 's e  $RC_2$ 's, foram testados para tolerância a 6 mg/litro de alumínio em solução nutritiva, conforme método descrito a seguir: as sementes das quinze populações estudadas foram cuidadosamente lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% e colocadas para germinar em placas-de-petri por 24 horas. Após esse tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

Escolheram-se 80 sementes uniformes de cada cultivar utilizado como genitor; 80 sementes de cada cruzamento em geração  $F_1$ ; 400 sementes de cada cruzamento em geração  $F_2$  e 96 sementes de cada retrocruzamento, as quais foram divididas em quatro partes iguais, sendo cada uma delas disposta sobre o topo de uma tela de náilon. Utilizaram-se, portanto, quatro telas de náilon contendo as sementes das 15 populações, as quais foram colocadas em contacto com a solução nutritiva completa em quatro vasilhas plásticas de 8,3 litros de capacidade cada uma.

A concentração final da solução nutritiva completa foi a seguinte:  $Ca(NO_3)_2$  4 mM;  $MgSO_4$  2 mM;  $KNO_3$  4 mM;  $(NH_4)_2SO_4$  0,435 mM;  $KH_2PO_4$  0,5 mM;  $MnSO_4$  2  $\mu$ m;  $CuSO_4$  0,3  $\mu$ m;  $ZnSO_4$  0,8  $\mu$ m;  $NaCl$  30  $\mu$ m;  $Fe-CYDTA$  10  $\mu$ m;  $Na_2MoO_4$  0,1  $\mu$ m e  $H_3BO_3$  10  $\mu$ m. O nível das soluções nas vasilhas plásticas tocava a parte de baixo da tela de náilon, de maneira que as sementes foram mantidas úmidas e as radículas emergentes tiveram um pronto suprimento de nutriente. O pH da solução foi previamente ajustado para 4,0, com uma solução de  $H_2SO_4$  1N. As soluções foram continuamente arejadas e suas vasilhas, colocadas em banho-maria, com temperatura de  $25 \pm 1^\circ C$  dentro do laboratório. O experimento foi mantido com luz fluorescente em sua totalidade, desenvolvendo-se as plantas nessas condições por 48 horas. Após esse período, cada plântula apresentava três raízes primárias, uma mais longa, com cerca de 4,5 cm, e duas mais curtas, localizadas lateralmente à primeira. As quatro telas foram transferidas para soluções de tratamento contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ , na forma de  $Al_2(SO_4)_3$  18  $H_2O$ . A concentração foi escolhida

com base em estudos que mostraram ser esse nível eficiente para a separação de plantas tolerantes e sensíveis ao  $Al^{3+}$  (Camargo & Oliveira, 1981a, e Camargo et al., 1987).

A composição da solução de tratamento foi de um décimo da solução nutritiva completa, exceto que o fósforo foi omitido e o ferro, adicionado em quantidade equivalente como  $FeCl_3$ , no lugar de  $Fe-CYDTA$ . O fósforo foi omitido para evitar a possível precipitação do alumínio. Por causa da precipitação do alumínio como  $Al(OH)_3$ , especial atenção foi dada a esse ponto. Antes de serem transferidas as telas para soluções de tratamento, adicionou-se suficiente solução de  $H_2SO_4$  1N para trazer o pH para cerca de 4,2, colocando-se, então, a necessária quantidade de alumínio como  $Al_2(SO_4)_3$  18  $H_2O$ , visando obter soluções com 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ . O pH final foi ajustado para 4,0 com uma solução de  $H_2SO_4$  1N, 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 soluções de tratamento. No final desse período, transferiram-se as quatro telas contendo as plântulas dos 15 genótipos de volta para as vasilhas contendo soluções nutritivas completas, onde cresceram nas primeiras 48 horas.

As plântulas cresceram nas soluções completas por 72 horas. O crescimento da raiz, após 72 horas na solução completa, depende da severidade da prévia solução de tratamento. Com uma quantidade tóxica de alumínio para determinado genótipo, as raízes primárias não cresceram mais e permaneceram grossas, mostrando no ápice uma injúria típica com descolamento. A quantidade de crescimento da raiz foi determinada, medindo-se o crescimento da raiz de cada plântula, no final da 72 horas na solução nutritiva completa, e subtraindo-se seu comprimento, medido no final de crescimento na solução de tratamento.

Após a medição das raízes, transplantaram-se as plântulas, devidamente identificadas, para vasos preenchidos com solo adubado sem alumínio trocável, colocando-os no telado (proteção contra o ataque de pássaros) do Centro Experimental de Campinas.

O delineamento estatístico foi de blocos ao acaso com 15 tratamentos, os quais incluem os 3 parentais, os 3  $F_1$ 's, os 3  $F_2$ 's, os 3  $RC_1$ 's e os 3  $RC_2$ 's, com quatro repetições. Cada repetição foi constituída por 5 vasos com quatro plantas para os pais e  $F_1$ 's; por 25 vasos para os  $F_2$ 's, e por 6 vasos para os  $RC$ 's.

O conjunto das quatro repetições foi constituído de 564 vasos de plástico preto de aproximadamente 25 cm de altura e 20 cm de diâmetro. Os vasos foram distribuídos distantes um do outro na linha de 10 cm e entre linhas de 40 cm. Foi plantada uma linha adicional de vasos contornando o experimento, visando minimizar os efeitos de bordadura.

Os dados, coletados na base de plantas individuais, são os seguintes:

**Tolerância ao alumínio** - considerada como o comprimento, em milímetros, da raiz primária central, após 72 horas de crescimento na solução nutritiva completa, que se seguiu a um tratamento de 48 horas em solução nutritiva contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ .

**Altura das plantas** - medida, em centímetros, da superfície do solo até a ponta do colmo mais alto, excluindo as aristas.

**Produção de grãos** - peso, em gramas, da produção total de grãos de cada planta.

Todos os caracteres estudados foram sujeitos à análise da variância, sendo o teste F utilizado para determinar efeitos significativos. Considerou-se a média de cada genótipo em cada repetição. Os efeitos de geração na análise da variância foram divididos em componentes, para detectar diferenças dentro de e entre gerações.

Calcularam-se os graus de dominância para altura das plantas e tolerância à toxicidade de alumínio com base nos componentes da variância, para cada cruzamento, segundo o método proposto por Mather & Jinks (1977).

A heterose foi calculada para altura das plantas, produção de grãos e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ , como a porcentagem de aumento do  $F_1$  ou  $F_2$  sobre a média dos pais, mediante a fórmula descrita por Matzinger et al. (1962). A superioridade do  $F_1$  ou  $F_2$  sobre a média do pai que apresentou o dado mais elevado para o caráter avaliado foi definida como heterobeliose e estimada usando-se a fórmula proposta por Fonseca & Patterson (1968).

A estimativa da herdabilidade em sentido restrito -  $h^2_{ns}$  - (proporção entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica) foi calculada para os três caracteres em estudo para os cruzamentos pelo método de Warner (1952), utilizando-se dados de plantas individuais. O erro-padrão para a  $h^2_{ns}$  foi obtido conforme método de Ketata et al. (1976).

As correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais foram usadas para estimar o grau de associação entre os três caracteres em estudo para cada população, mediante dados de plantas individuais. Como sugerido por Falconer (1960), as correlações usando dados de  $F_1$  foram consideradas ambientais e aquelas com dados de  $F_2$ , fenotípicas. As correlações genotípicas foram calculadas pela seguinte fórmula:

$$r_G = (r_F - e_X e_Y r_E) / h_X h_Y$$

onde:

$r_F$  = correlação fenotípica entre os caracteres X e Y;  $r_G$  = correlação genotípica entre X e Y;  $r_E$  = correlação ambiental entre X e Y;  $h_X$  e  $h_Y$  = raiz quadrada da herdabilidade em sentido restrito para os caracteres X e Y respectivamente, considerando separadamente cada cruzamento;

$$e_X = \sqrt{1 - h_X^2} \text{ e } e_Y = \sqrt{1 - h_Y^2}$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, encontram-se as análises da variância para produção de grãos, altura das plantas e comprimento da raiz (tolerância a 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ ) e, no quadro 2, as médias de cada genótipo para cada um dos caracteres estudados.

Empregando-se o teste de Tukey a 5% para a comparação entre a produção de grãos, verificou-se que o 'BH-1146' foi o mais produtivo, diferindo dos cultivares IAC-24 e Anahuac, que, por sua vez, não diferiram entre si. Não foram detectadas diferenças significativas entre os  $F_1$ 's,  $F_2$ 's e retrocruzamentos em relação à media de produção de grãos.

O 'BH-1146' apresentou a maior altura, diferindo significativamente dos cultivares IAC-24 e Anahuac, que não diferiram entre si. O híbrido BH-1146 x IAC-24 e BH-1146 x Anahuac, em geração  $F_1$ , tiveram as plantas mais altas, não diferindo entre si, porém somente do híbrido IAC-24 x Anahuac. O BH-1146 x Anahuac, em geração  $F_2$ , mostrou as plantas mais altas, diferindo significativamente dos demais. Considerando-se os  $RC_1$ 's, os híbridos (BH-1146 x IAC-24) x BH-1146 e (BH-1146 x Anahuac) x BH-1146, com as plantas de maior estatura, não diferiram entre si, mas só do (IAC-24 x Anahuac) x IAC-24. Entre os  $RC_2$ 's, o híbrido (BH-1146 x Anahuac) x Anahuac exibiu as plantas de maior porte, diferindo somente do (BH-1146 x IAC-24) x IAC-24.

Aplicando-se o teste de Tukey a 5% para a comparação entre o comprimento da raiz, após 72 horas em solução nutritiva completa, que se seguiu a um crescimento de 48 horas em soluções contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ , verificou-se que o 'Anahuac' foi sensível a essa concentração, diferindo significativamente dos cultivares tolerantes BH-1146 e IAC-24, que, por sua vez, diferiram entre si, sendo o 'BH-1146' muito mais tolerante, conforme resultados de Camargo & Oliveira (1981a) e Camargo et al. (1987). O híbrido BH-1146 x IAC-24, em gerações  $F_1$  e  $F_2$ , mostrou o

maior comprimento da raiz, diferindo dos híbridos BH-1146 x Anahuac e IAC-24 x Anahuac, nas duas gerações consideradas. Os retrocruzamentos (BH-1146 x IAC-24) x BH-1146 e (BH-1146 x Anahuac) x BH-1146 mostraram os maiores crescimentos radiculares, só diferindo do (IAC-24 x Anahuac) x IAC-24. Considerando-se os  $RC_2$ 'S, o híbrido (BH-1146 x IAC-24) x IAC-24 exibiu as plantas mais tolerantes à presença de 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ , diferindo dos outros dois, que, por sua vez, não diferiram entre si.

Quadro 1. Quadrados médios obtidos nas análises da variância para a produção de grãos, altura das plantas e comprimento médio das raízes (medido após 72 horas de crescimento em solução nutritiva completa que se seguiu a um crescimento de 48 horas em solução nutritiva de tratamento contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ ) dos cultivares de trigo BH-1146, IAC-24 e Anahuac e genótipos oriundos de cruzamentos entre eles

Causas de variação	G.L.	Produção de grãos	Altura das plantas	Comprimento da raiz
		g	cm	mm
Repetições	3	0,38	154,41**	17,48
Genótipos	14	10,29**	575,15**	441,96**
Entre gerações	4	28,83**	295,91**	226,37**
Dentro de gerações	10	2,87*	686,85**	528,19**
Pais	2	8,20*	1.841,97**	965,04**
$F_1$ S	2	0,38	584,74**	412,00**
$F_2$ S	2	0,61	175,05**	438,21**
$BC_1$ S	2	0,94	747,92**	407,35**
$BC_2$ S	2	4,23	84,57*	418,37**
Pais x repetições	6	0,87	5,33	4,97
$F_1$ S x repetições	6	1,15	7,64	19,04
$F_2$ S x repetições	6	0,18	3,65	32,86
$BC_1$ S x repetições	6	0,35	9,29	18,67
$BC_2$ S x repetições	6	2,52	7,98	19,90
Entre gerações x repetições	12	1,27	9,14	14,80
Genótipos x repetições	42	1,08	7,45	17,86
Total	59			

\* Significativo a 5% pelo teste F. \*\* Significativo a 1% pelo teste F.

Quadro 2. Médias e diferenças mínimas significativas dos caracteres agrônômicos estudados em cruzamentos envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-24 e Anahuac

Genótipos	Produção de grãos	Altura das plantas	Comprimento da raiz
	g	cm	mm
BH-1146	9,31	117,2	30,3
IAC-24	7,26	82,7	21,0
Anahuac	6,55	77,9	0,0
d.m.s. (5%)	2,02	5,0	4,8
<hr/>			
BH-1146 x IAC-24 (F <sub>1</sub> )	11,62	107,0	22,0
BH-1146 x Anahuac (F <sub>1</sub> )	11,01	111,8	9,0
IAC-24 x Anahuac (F <sub>1</sub> )	11,38	88,9	2,0
d.m.s. (5%)	2,33	6,0	9,5
<hr/>			
BH-1146 x IAC-24 (F <sub>2</sub> )	9,87	101,8	25,4
BH-1146 x Anahuac (F <sub>2</sub> )	10,57	109,2	9,4
IAC-24 x Anahuac (F <sub>2</sub> )	9,93	96,0	2,1
d.m.s. (5%)	0,92	4,1	12,4
<hr/>			
(BH-1146 x IAC-24) x BH-1146	10,55	111,0	23,8
(BH-1146 x Anahuac) x BH-1146	11,21	113,2	21,5
(IAC-24 x Anahuac) x IAC-24	11,49	88,5	5,3
d.m.s. (5%)	1,28	6,6	9,4
<hr/>			
(BH-1146 x IAC-24) x IAC-24	10,19	92,1	18,5
(BH-1146 x Anahuac) x Anahuac	11,94	101,1	0,9
(IAC-24 x Anahuac) x Anahuac	11,99	95,3	0,7
d.m.s. (5%)	3,44	6,1	9,7

Quadro 3. Grau de dominância (<sup>1</sup>) para altura das plantas e tolerância à toxicidade de alumínio para os cruzamentos envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-24 e Anahuac

Cruzamentos entre cultivares	Altura das plantas	Tolerância à toxicidade de Al <sup>3+</sup>
BH-1146 x IAC-24	0,701	0,437
BH-1146 x Anahuac	0,342	0,363
IAC-24 x Anahuac	—	0,642

(<sup>1</sup>) Grau de dominância igual a 1 significa dominância completa dos genes que condicionam porte alto ou tolerância à toxicidade a 6 mg/litro de Al<sup>3+</sup> nas soluções nutritivas, e zero significa que a relação entre os genes alelos que controlam a altura das plantas e a tolerância à toxicidade a 6 mg/litro de Al<sup>3+</sup> é inteiramente aditiva.

Esses resultados evidenciam que o 'BH-1146' se mostrou promissor em transmitir, para suas progênes, o caráter "maior tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ ", confirmando resultados anteriores de que possuía um par de genes dominantes para tolerância ao  $Al^{3+}$ , o qual revelou eficiência mesmo em concentrações mais elevadas desse elemento, como 10 mg/litro nas soluções nutritivas (Camargo, 1981).

Os graus de dominância para altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  encontram-se no quadro 3 e os valores de heterose e heterobeltiose para altura das plantas, produção de grãos e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  dos cruzamentos envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-24 e Anahuac, no quadro 4.

Os dados obtidos para altura das plantas sugerem que os genes para porte alto encontrados no cultivar BH-1146 têm um comportamento parcialmente dominante quando cruzados com os cultivares IAC-24

e Anahuac, confirmando resultados de Camargo & Oliveira (1981b) e León (1975).

Os genes responsáveis pela tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  dos cultivares BH-1146 e IAC-24 em cruzamentos entre si e com o cultivar Anahuac, em gerações  $F_1$  e  $F_2$  e retrocruzamentos, mostraram uma quebra parcial da dominância ou um comportamento parcialmente recessivo na presença de 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ . Esses dados confirmam os obtidos por Camargo (1984a), mostrando que o cultivar de trigo C-3 diferiu do Siete Cerros por um par de genes dominantes para tolerância, quando estudados em solução nutritiva contendo 3 mg/litro de  $Al^{3+}$ . O mesmo autor verificou uma quebra gradual da dominância do par de genes responsável pela reação de tolerância na concentração de 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  na solução, sugerindo também que genes adicionais poderiam estar envolvidos na determinação do nível de tolerância. O cultivar C-3 diferiu do Siete Cerros por um par de genes dominantes em solução nutritiva contendo 10 mg/litro de

Quadro 4. Heterose e heterobeltiose para altura das plantas, produção de grãos e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  nas gerações  $F_1$  e  $F_2$  de cruzamentos envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-24 e Anahuac

Cruzamentos entre cultivares	Heterose ( <sup>1</sup> )		Heterobeltiose ( <sup>2</sup> )	
	$F_1$	$F_2$	$F_1$	$F_2$
<b>Altura das plantas</b>				
	%	%	%	%
BH-1146 x IAC-24	7,11	1,93	-8,63	-13,04
BH-1146 x Anahuac	14,40	12,49	-4,50	-6,73
IAC-24 x Anahuac	10,94	18,81	8,34	16,02
<b>Produção de grãos</b>				
	%	%	%	%
BH-1146 x IAC-24	38,96	18,94	23,87	6,02
BH-1146 x Anahuac	38,66	33,62	18,39	14,09
IAC-24 x Anahuac	64,50	42,57	56,59	35,71
<b>Tolerância à toxicidade de <math>Al^{3+}</math></b>				
	%	%	%	%
BH-1146 x IAC-24	-14,01	-0,66	-27,32	-16,03
BH-1146 x Anahuac	-41,09	-38,52	-70,54	-69,25
IAC-24 x Anahuac	-80,98	-45,12	-90,48	-72,56

(<sup>1</sup>) Calculada como a porcentagem de aumento do  $F_1$  ou  $F_2$  sobre a média dos pais. (<sup>2</sup>) Calculada como a porcentagem de aumento do  $F_1$  ou  $F_2$  sobre a média do pai superior.

$Al^{3+}$ , considerando que as plantas heterozigóticas das gerações  $F_2$  e  $F_1$  foram sensíveis, ou o cultivar Siete Cerros diferiu do C-3 por um par de genes dominantes para sensibilidade, nessa concentração de  $Al^{3+}$ . Resultados semelhantes foram também observados por Camargo (1981).

Os híbridos BH-1146 x IAC-24, BH-1146 x Anahuac e IAC-24 x Anahuac, nas gerações  $F_1$  e  $F_2$ , mostraram valores positivos de heterose e heterobeltiose para produção de grãos. O cruzamento IAC-24 x Anahuac apresentou os maiores valores, indicando que se complementam bem.

As estimativas da herdabilidade em sentido restrito, para os três caracteres estudados, derivados de dados obtidos nas gerações  $F_2$ 's e retrocruzamentos das três populações híbridas, encontram-se no quadro 5.

Os valores da herdabilidade em sentido restrito para altura das plantas e comprimento da raiz, após um tratamento em soluções contendo 6mg/litro de  $Al^{3+}$ , foram médios a altos, para os três híbridos avaliados. Esses resultados indicam que grande parte da variabilidade genética total para altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  é devida a genes que se comportam de maneira aditiva, corroborando os resultados de Johnson et al. (1966), Camargo et al. (1980), e Camargo (1984a,b, 1987a,b). Para esses caracteres, onde os efeitos aditivos foram a principal fonte de variação, as seleções deveriam ser realizadas nas primeiras gerações segregantes dos híbridos. Para produção de grãos, que apresentou baixa herdabilidade em sentido restrito, indicando ser de origem ambiental elevada parte da variação total das populações estudadas, a seleção para esse caráter deveria ser efetuada nas últimas gerações, quando o valor genético

da progênie poderia ser mais precisamente determinado. Esses resultados confirmam os de Ketata et al. (1976) e Camargo (1987a,b).

No quadro 6, encontram-se as correlações ambientais ( $r_E$ ), fenotípicas ( $r_F$ ) e genotípicas ( $r_G$ ) entre produção de grãos, altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  para cada cruzamento envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-24 e Anahuac.

As correlações genotípicas calculadas entre a produção de grãos e a altura das plantas, a produção de grãos e a tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ , e a altura das plantas e a tolerância à toxicidade de alumínio, concordaram, em geral, com as obtidas para as correlações fenotípicas, para os três cruzamentos.

As plantas mais produtivas foram aquelas que apresentaram porte alto. Nas populações BH-1146 x Anahuac e IAC-24 x Anahuac, as plantas com maior produção de grãos independeram do grau de tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ , concordando com resultados de Camargo (1987a,b) e discordando dos obtidos por Prioli (1987), mostrando em milho uma associação entre baixa produtividade e tolerância ao  $Al^{3+}$  quando os híbridos foram cultivados em solos de baixa acidez. Entretanto, neste trabalho, na população BH-1146 x IAC-24, envolvendo dois cultivares tolerantes ao  $Al^{3+}$ , as plantas mais produtivas associaram-se significativamente com as mais tolerantes ao  $Al^{3+}$ , isto é, maior crescimento da raiz após tratamento em solução contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ .

Nas populações BH-1146 x Anahuac e IAC-24 x Anahuac, a altura das plantas independeu da tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ , confirmando resultados de Camargo (1984c), em populações provenientes dos cruzamentos entre um cultivar de porte semi-anão e sensível à toxicidade de  $Al^{3+}$  com três cultivares

Quadro 5. Estimativas da herdabilidade em sentido restrito<sup>(1)</sup> para produção de grãos, altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ , derivadas de dados obtidos nas gerações parentais,  $F_1$ 'S,  $F_2$ 'S,  $RC_1$ 'S,  $RC_2$ 'S de cruzamentos envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-24 e Anahuac

Caráter	BH-1146 x IAC-24	BH-1146 x Anahuac	IAC-24 x Anahuac
Produção de grãos	0,037 ± 0,259	0,106 ± 0,231	0,195 ± 0,069
Altura das plantas	0,432 ± 0,209	0,732 ± 0,162	0,799 ± 0,028
Tolerância à toxicidade de $Al^{3+}$	0,425 ± 0,200	0,922 ± 0,131	0,494 ± 0,065

<sup>(1)</sup> Pelo método proposto por Warner (1952).



Quadro 6. Correlações de ambientes ( $r_E$ ), fenotípicas ( $r_F$ ) e genotípicas ( $r_G$ ) entre produção de grãos, altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  para cada cruzamento envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-24 e Anahuac

Cruzamentos entre cultivares	$r_E$	$r_F$	$r_G$
<b>Produção de grãos x altura das plantas</b>			
BH-1146 x IAC-24	0,585**	0,930**	> 1,000
BH-1146 x Anahuac	0,312**	0,436**	> 1,000
IAC-24 x Anahuac	0,425**	0,252**	0,205
<b>Produção de grãos x tolerância à toxicidade de <math>Al^{3+}</math></b>			
BH-1146 x IAC-24	0,139	0,851**	> 1,000
BH-1146 x Anahuac	0,112	0,041	0,035
IAC-24 x Anahuac	0,043	0,042	0,048
<b>Altura das plantas x tolerância à toxicidade de <math>Al^{3+}</math></b>			
BH-1146 x IAC-24	0,131	0,881**	> 1,000
BH-1146 x Anahuac	0,131	0,041	0,035
IAC-24 x Anahuac	0,018	-0,011	-0,027

\* Significativo ao nível de 5%. \*\* Significativo ao nível de 1%.

de porte alto e tolerantes ao  $Al^{3+}$ . Por outro lado, na população BH-1146 x IAC-24, as plantas de porte alto associaram-se com as mais tolerantes ao  $Al^{3+}$ .

Como o programa de melhoramento de trigo visa obter genótipos produtivos, de porte semi-anão e tolerantes à toxicidade de  $Al^{3+}$ , verificou-se a possibilidade de selecionar plantas das populações estudadas, portadoras, ao mesmo tempo, das qualidades desejáveis, tornando-se, porém, necessário desenvolver grandes populações segregantes para favorecer a identificação dos recombinantes desejáveis.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Os cultivares de trigo BH-1146, IAC-24 e Anahuac, escolhidos para o estudo, representaram largo espectro de diversidade genética para produção de grãos, altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ .

2. Os cultivares IAC-24 e Anahuac, de porte semi-anão, quando em cruzamentos com 'BH-1146', de

porte alto, mostraram dominância parcial para porte alto.

3. Valores positivos de heterose e heterobeliose foram encontrados para produção de grãos, em gerações  $F_1$  e  $F_2$  dos híbridos BH-1146 x IAC-24, BH-1146 x Anahuac e IAC-24 x Anahuac.

4. Estimativas médias a altas para herdabilidade em sentido restrito para a altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ , indicaram que as seleções para esses caracteres poderiam ser feitas nas gerações  $F_2$  ou  $F_3$  de cada população.

5. Os baixos valores da herdabilidade em sentido restrito, para a produção de grãos, nas populações avaliadas, sugerem que a seleção para esse caráter deveria ser postergada para gerações mais avançadas, onde testes de progênies poderiam ser realizados.

6. Os dados obtidos pelas correlações entre produção de grãos, altura das plantas e tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$  sugeriram ser possível selecionar progênies apresentando, ao mesmo tempo, porte baixo,

alta tolerância ao  $Al^{3+}$  e elevado potencial produtivo, desde que sejam proporcionadas grandes populações segregantes para permitir a obtenção dos recombinantes pretendidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRIGGS, F.N. & KNOWLES, P.F. **Introduction to plant breeding**. Davis, Reinhold Publishing Corporation, 1977. 426p.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoria do trigo: I. Hereditabilidade da tolerância à toxicidade do alumínio. *Bragantia*, Campinas, **40**:33-45, 1981.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoria do trigo: VI. Hereditabilidade da tolerância a três concentrações de alumínio em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):279-291, 1984a.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoria do trigo: VIII. Associações entre produção de grãos e outros caracteres agrônomicos em populações híbridas envolvendo diferentes fontes de nanismo. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):541-552, 1984b.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoria do trigo: X. Estimativas da herdabilidade e correlações entre tolerância à toxicidade de alumínio e produção de grãos com outros caracteres agrônomicos em trigo. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):615-628, 1984c.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoria do trigo: XIII. Estimativas de variância, herdabilidade e correlações em cruzamentos de trigo para produção de grãos e tolerância à toxicidade de alumínio. *Bragantia*, Campinas, **46**(2):73-89, 1987a.
- CAMARGO, C.E. de O. Melhoria do trigo: XIV. Correlações entre a tolerância à toxicidade a dois níveis de alumínio e altura das plantas com outros caracteres agrônomicos em trigo. *Bragantia*, Campinas, **46**(2):91-103, 1987b.
- CAMARGO, C.E. de O.; FELÍCIO, J.C. & ROCHA JÚNIOR, L.S. Trigo: tolerância ao alumínio em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **46**(2):183-190, 1987.
- CAMARGO, C.E. de O.; KRONSTAD, W.E. & METZGER, R.J. Parent-progeny regression estimates and associations of height level with aluminum toxicity and grain yield in wheat. *Crop Science*, Madison, **20**(3):355-358, 1980.
- CAMARGO, C.E. de 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, 1981a.
- CAMARGO, C.E. de O. & OLIVEIRA, O.F. de. Melhoria do trigo: II. Estudo genético de fontes de nanismo para a cultura do trigo. *Bragantia*, Campinas, **40**:77-91, 1981b.
- CAMARGO, C.E. de O. & OLIVEIRA, O.F. de. Melhoria do trigo: V. Estimativas da herdabilidade e correlações entre altura, produção de grãos e outros caracteres agrônomicos em trigo. *Bragantia*, Campinas, **42**:131-148, 1983.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. New York, Ronald Press, 1960. 365p.
- FELÍCIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FREITAS, J.G. de; BARROS, B. de C. & VITTI, P. Tocantins (IAC-23) e Tucuruí (IAC-24): novos cultivares de trigo. *Bragantia*, Campinas, **47**(1):93-107, 1988.
- FONSECA, S. & PATTERSON, F.L. Yield component heritabilities and interrelationships in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*, Madison, **8**(5):614-617, 1968.
- FOY, C.D.; ARMIGER, W.H.; BRIGGLE, L.W. & REID, D.A. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *Agronomy Journal*, Madison, **57**(5):413-417, 1965.
- JOHNSON, V.A.; BIEVER, K.J.; HAUNOLD, A. & SCHMIDT, J.W. Inheritance of plant height, yield of grain, and other plant and seed characteristics in a cross of hard red winter wheat, *Triticum aestivum* L. *Crop Science*, Madison, **6**(4):336-338, 1966.
- KETATA, H.; EDWARDS, L.H. & SMITH, E.L. Inheritance of eight agronomic characters in a winter wheat cross. *Crop Science*, Madison, **16**(1):19-22, 1976.
- LAGOS, M.B.; FERNANDES, M.I.B. de M.; CARVALHO, F.I.F. & CAMARGO, C.E. de O. **Localização do(s) gene(s) de tolerância ao crestamento em trigo cv. BH-1146** (*Triticum aestivum* L.). s.l., s.ed., 1984. 1p. Trabalho apresentado na 13ª Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Cruz Alta, 1984.
- LEON, J.L.M. **Combining ability of agronomic traits involving three sources of dwarfism in wheat** (*Triticum aestivum* L. em Thell). Corvallis, 1975. 116p. Tese (Doutorado) - Oregon State University, 1975.
- MATHER, K. & JINKS, J.L. **Introduction to biometrical genetics**. Ithaca, Cornell University Press, 1977. 213p.
- MATZINGER, D.F.; MANN, T.J. & COCKERHAN, C.C. Diallel crosses in *Nicotiana tabacum*. *Crop Science*, Madison, **2**(5):383-386, 1962.
- PAO, W.K.; LI, C.H.; CHEN, C.W. & LI, H.W. Inheritance of dwarfness in common wheat. *Journal of the American Society of Agronomy*, Geneva, **36**(5):417-428, 1944.
- PRIOLI, A.J. **Análise genética da tolerância à toxidez do alumínio em milho** (*Zea mays* L.). Campinas, 1987. 182p. Tese (Doutorado) - Instituto de Biologia - UNICAMP, 1987.
- VOGEL, O.A.; CRADDOCK JUNIOR, J.C.; MUIR, C.E.; EVERSON, E.H. & ROHDE, C.R. Semidwarf growth habitat in winter wheat improvement for the Pacific Northwest. *Agronomy Journal*, Madison, **48**(2):76-78, 1956.
- WARNER, J.N. A method for estimating heritability. *Agronomy Journal*, Madison, **44**(8):427-430, 1952.