

# MELHORAMENTO DO TRIGO: XIII. ESTIMATIVAS DE VARIÂNCIA, HERDABILIDADE E CORRELAÇÕES EM CRUZAMENTOS DE TRIGO PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS E TOLERÂNCIA À TOXICIDADE DE ALUMÍNIO (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2, 3)

## RESUMO

Estimaram-se os valores da herdabilidade para várias características da planta do trigo (tolerância ao  $Al^{3+}$ , comprimento da espiga, número de espiguetas por espiga e de grãos por espiga e por espiguetas, peso de cem grãos, número de espigas por planta, altura das plantas e produção de grãos), bem como as correlações entre a produção de grãos e a tolerância ao  $Al^{3+}$  com os demais caracteres agronômicos estudados. Os dados foram obtidos a partir de cruzamentos envolvendo o cultivar BH-1146, tolerante ao  $Al^{3+}$ , e os cultivares Alondra-S-46 e IAC-17, moderadamente tolerantes. Plântulas parentais e as gerações  $F_1$  e  $F_2$  foram testadas para a reação a 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  em solução nutritiva. As plântulas, devidamente identificadas, foram transplantadas para vasos onde se desenvolveram até o final do ciclo vegetativo. A herdabilidade no sentido amplo para peso de cem grãos, comprimento da espiga e número de espiguetas por espiga foi, respectivamente, 0,73, 0,69 e 0,54. Para os demais caracteres, as herdabilidades foram baixas, variando de 0,09 a 0,24. Os valores da herdabilidade no sentido restrito, para os caracteres estudados, com exceção do peso de cem

---

(1) 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. Recebido para publicação em 22 de agosto de 1986.

(2) Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001 Campinas (SP).

(3) Com bolsa de suplementação do CNPq.

grãos e do número de espigas por planta, mostraram que grande parte da variabilidade genética nessas populações é aditiva. As correlações fenotípicas entre a produção de grãos e todos os demais caracteres agrônômicos foram positivas e significativas para quase todas as populações estudadas. A correlação entre produção de grãos e número de espiguetas por espiga para a população BH-1146 x Alondra-S-46 foi negativa e significativa. Nessas populações, a tolerância a 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  não foi associada com os caracteres agrônômicos estudados, fazendo exceção a população BH-1146 x IAC-17, que mostrou associações significativas entre a tolerância a 3 mg/litro de  $Al^{3+}$  com altura das plantas, comprimento da espiga e número de espiguetas por espiga, e a população BH-1146 x Alondra-S-46, que apresentou associações significativas entre a tolerância a 3 mg/litro de  $Al^{3+}$  com comprimento da espiga e número de espiguetas por espiga. Os resultados sugerem que seria possível selecionar nas populações estudadas plantas tolerantes ao  $Al^{3+}$ , de porte semi-anão, com maior fertilidade da espiga e elevado potencial produtivo.

**Termos de indexação:** trigo, herdabilidade em sentido amplo, herdabilidade em sentido restrito, correlação, tolerância à toxicidade de alumínio, produção de grãos.

## 1. INTRODUÇÃO

As variedades de trigo diferem grandemente em relação à tolerância à toxicidade de alumínio em solos ácidos, bem como em soluções nutritivas (FOY et al., 1965; MUGWIRA et al., 1981, e CAMARGO & OLIVEIRA, 1981).

CAMARGO & OLIVEIRA (1981) mostraram que os cultivares de trigo Siete Cerros e Tobari-66 foram sensíveis a 1 e 3 mg/litro de alumínio na solução nutritiva respectivamente, enquanto Alondra-S-46 e IAC-17 o foram a 6 mg/litro. Os cultivares BH-1146, IAC-5, IAC-18, IAC-13 e Londrina foram tolerantes a 10 mg/litro de alumínio na solução nutritiva, sendo BH-1146, IAC-18 e IAC-13 mais tolerantes que os outros. Em vasos contendo solo com alumínio, o BH-1146 diferiu, em produção de grãos por planta, dos cultivares Tobari-66, Alondra-S-46, IAC-17 e Siete Cerros.

Altos valores da herdabilidade em sentido amplo (0,725 a 0,895) indicaram que a seleção para tolerância ao alumínio seria eficiente na população proveniente do cruzamento entre um cultivar tolerante – C-3, e um sensível – Siete Cerros (CAMARGO, 1984).

CAMARGO (1981), estudando a herança da tolerância ao alumínio em solução nutritiva, mostrou que para 2 mg/litro de alumínio, o cultivar de trigo Tordo diferiu de Siete Cerros por um par de genes dominantes para tolerância; para 3 mg/litro, o BH-1146 apresentou um par de genes e Atlas-66, dois pares de genes dominantes, quando foram cruzados com Siete Cerros e Tordo; para 6 mg/litro de Al, BH-1146 e Atlas-66, quando foram cruzados entre si, mostraram ter um par de genes dominantes cada um; o mesmo cruzamento entre BH-1146 e

Atlas-66, estudado a 10 mg/litro, revelou que BH-1146 diferiu do Atlas-66, que foi sensível a essa concentração, com um par de genes dominantes para tolerância.

Trabalhos desenvolvidos por LAGOS et al. (1984) empregando plantas monossômicas ( $2n = 41$ ) de linhas aneuplóides e normais ( $2n = 42$ ) do genótipo de trigo Chinese Spring, identificadas citologicamente, que foram cruzadas com o 'BH-1146', tolerante à toxicidade de  $Al^{3+}$ , evidenciaram que a proporção de indivíduos tolerantes e sensíveis, entre progênies  $F_2$ , dos cruzamentos obtidos e testados em soluções nutritivas contendo 4 mg/litro de  $Al^{3+}$ , era de 3:1, exceto entre descendentes das linhas monossômicas para o cromossoma 4D, onde o teste do quiquadrado não revelou ajuste, permitindo a conclusão de que o gene de tolerância ao  $Al^{3+}$  está localizado nesse segmento genético.

JOHNSON et al. (1966) encontraram valores altos de herdabilidade para altura das plantas, comprimento da espiga e peso dos grãos em cruzamentos envolvendo variedades de trigo de inverno, concluindo que as seleções para esses caracteres seriam eficientes na população  $F_2$ . CAMARGO (1984) obteve a mesma conclusão em relação a altura das plantas, número de grãos por espiga, comprimento da espiga e peso de cem grãos, com valores de herdabilidade de 0,720 a 0,885, estudando cruzamentos entre um cultivar de porte semi-anão (Alondra-S-46) com três de porte alto (BH-1146, IAC-5 e C-3).

O estudo das associações entre os componentes de produção de uma população híbrida permite saber se os componentes são geneticamente dependentes ou independentes, isto é, se tendem ou não em permanecer associados nas progênies durante os sucessivos ciclos de seleção (FONSECA & PATTERSON, 1968). Em populações segregantes provenientes de cruzamentos de cultivares de trigo tolerantes e sensíveis à toxicidade de alumínio, verificou-se que essa tolerância não foi associada com altura das plantas (exceto para uma das populações estudadas), produção de grãos e número de grãos por espiguetas, sugerindo que seria possível selecionar plantas tolerantes ao  $Al^{3+}$ , de porte médio, com maior fertilidade da espiga e elevado potencial produtivo (CAMARGO, 1984).

No presente trabalho, estudou-se a herdabilidade em sentido amplo e restrito para oito caracteres agrônomicos; as associações entre a tolerância a 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  em solução nutritiva e a produção de grãos com caracteres agrônomicos, a partir de populações híbridas originárias de cruzamentos envolvendo três cultivares de trigo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Pesquisaram-se os seguintes cultivares: BH-1146 (P1), IAC-17 (P2) e Alondra-S-46 (P3). O 'BH-1146' é tolerante à toxicidade de alumínio e os demais, moderadamente tolerantes (CAMARGO, 1981).

Foram obtidas as sementes em geração F1 e F2 dos cruzamentos BH-1146 x IAC-17 (P1 x P2), BH-1146 x Alondra-S-46 (P1 x P3) e IAC-17 x Alondra-S-46 (P2 x P3).

Os pais, F1s e F2s, foram testados para tolerância a 3 e 6mg/litro de alumínio em soluções nutritivas conforme o método descrito a seguir:

As sementes dos nove genótipos estudados 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 24 sementes uniformes de cada cultivar utilizado como progenitor, 24 sementes de cada cruzamento em geração F1 e 40 sementes de cada cruzamento em geração F2, as quais foram colocadas sobre o topo de cada uma das quatro telas de náilon a utilizar. Cada uma das telas contendo as sementes dos nove genótipos foi deixada em contacto com a solução nutritiva completa existente em quatro vasilhas plásticas de 8,3 litros de capacidade cada uma.

A concentração final da solução nutritiva completa foi a seguinte:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  4mM;  $\text{MgSO}_4$  2mM;  $\text{KNO}_3$  4mM;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  0,435 mM;  $\text{KH}_2\text{SO}_4$  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 $\mu\text{M}$ ;  $\text{FeCYDTA}$  10 $\mu\text{M}$ ;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0,1 $\mu\text{M}$  e  $\text{H}_3\text{BO}_3$  10 $\mu\text{M}$ . O nível da solução nas vasilhas plásticas foi de tal modo a tocar a parte de baixo da tela de náilon; assim, as sementes eram mantidas úmidas e as radículas emergentes tinham um pronto suprimento de água e de nutrientes. O pH da solução foi previamente ajustado para 4,0 com uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N. As soluções foram continuamente arejadas e, as vasilhas plásticas, colocadas em banho-maria com temperatura de  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  no laboratório. O experimento foi mantido com luz fluorescente em sua totalidade. As plântulas desenvolveram-se nessas condições por 48 horas. Decorrido esse período, cada plântula apresentava três raízes primárias, uma mais longa, medindo cerca de 4,5 cm, e duas mais curtas, localizadas lateralmente à primeira. Duas das telas de náilon foram transferidas para soluções tratamentos contendo 3 mg/litro de  $\text{Al}^{3+}$  e duas para soluções tratamentos contendo 6 mg/litro de  $\text{Al}^{3+}$  na forma de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ . Essas concentrações foram escolhidas com base em estudos anteriores, que mostraram ser tais níveis eficientes para a separação de plantas tolerantes e sensíveis ao  $\text{Al}^{3+}$  (CAMARGO, 1981).

A composição da solução tratamento foi de um décimo da solução nutritiva completa, exceto que o fósforo foi omitido e o ferro foi adicionado em quantidade equivalente, como  $\text{FeCl}_3$ , no lugar de  $\text{FeCYDTA}$ . O fósforo foi omitido para evitar a possível precipitação do alumínio. Por causa da precipitação do alumínio como  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , especial atenção foi dada a esse ponto. Antes de serem transferidas as telas para as soluções de tratamento, suficiente solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N foi adicionada, para trazer o pH para cerca de 4,2 e então a necessária quantidade de alumínio como  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  foi colocada visando obter soluções com 3 e

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 cresceram por 48 horas nas soluções de tratamento. Passado esse período, as quatro telas contendo as plântulas dos nove genótipos foram transferidas de volta para as vasilhas contendo solução nutritiva completa, onde cresceram nas primeiras 48 horas.

As plântulas desenvolveram-se nas soluções completas por 72 horas. O crescimento da raiz após as 72 horas na solução completa depende da severidade da prévia solução tratamento. Com uma quantidade tóxica de alumínio para determinado genótipo, 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 o crescimento da raiz de cada plântula no final das 72 horas na solução nutritiva completa e subtraindo-se o comprimento da mesma raiz medida no final de crescimento na solução de tratamento.

Após a medição das raízes, as plântulas foram transferidas para vasos preenchidos com solo adubado, sem alumínio trocável, localizados no telado contra ataque de pássaros no Centro Experimental de Campinas; devidamente identificadas quanto à tolerância a 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  em solução nutritiva, foram plantadas em número de quatro por vaso, equidistantes uma da outra.

O delineamento estatístico empregado foi de blocos ao acaso com nove tratamentos, os quais incluem os 3 pais, os 3 F1s e os 3 F2s, com quatro repetições. As duas primeiras repetições foram constituídas de plantas testadas em soluções de tratamento contendo 3 mg/litro de  $Al^{3+}$  e as duas repetições restantes, das plantas testadas em soluções contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ . Cada repetição foi formada por seis vasos de cada genitor e de cada híbrido em geração F1, e por dez vasos de cada híbrido em geração F2. O conjunto das quatro repetições foi constituído de 264 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 as linhas, de 40 cm. Plantou-se uma linha adicional de vasos contornando o experimento visando minimizar os efeitos de bordadura.

Os seguintes dados foram coletados em plantas individuais:

**Tolerância ao alumínio** – Considerada como o crescimento, em milímetro, da raiz primária central em 72 horas na solução nutritiva completa, após um tratamento de 48 horas em solução nutritiva contendo 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ .

**Altura da planta** – Medida, em centímetros, do nível do solo até o ápice das espigas, excluindo as aristas.

**Espigas por planta** – Considerado apenas o número de colmos com espigas férteis.

**Produção de grãos** – Peso, em gramas, da produção total de grãos de cada planta.

**Comprimento da espiga** – Medida, em centímetros, da espiga do colmo principal, excluindo as aristas.

**Espiguetas** – Computado o número de espiguetas do colmo principal.

**Grãos por espiga** – Número total de grãos da espiga do colmo principal.

**Grãos por espiguetas** – Número resultante da divisão do total de grãos da espiga principal pelo total de espiguetas da mesma espiga.

**Peso de cem grãos** – Peso, em gramas, de cem grãos coletados ao acaso na produção total da planta.

Os caracteres estudados foram submetidos à análise de variância e o teste F, aplicado para testar os tratamentos. Para a análise de variância, considerou-se a média de cada genótipo em cada repetição. Os efeitos de geração foram divididos em componentes para detectar diferenças entre e dentro de gerações. A estimativa da herdabilidade no sentido amplo (proporção da variância genética total em relação à variância fenotípica) foi calculada conforme o método citado por BRIGGS & KNOWLES (1977). A estimativa da herdabilidade em sentido restrito foi calculada pela regressão da média de  $F_2$  em cada repetição sobre o respectivo  $F_1$ , segundo FALCONER (1960), considerando os três cruzamentos em conjunto.

As correlações fenotípicas, genotípicas e ambientes foram usadas para estimar o grau de associação entre a produção de grãos e sete outros caracteres agrônômicos para cada uma das três populações (P1 x P2, P1 x P3 e P2 x P3). Calcularam-se também as correlações fenotípicas, genotípicas e ambientes entre a tolerância a 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  e oito caracteres agrônômicos para as três populações. Como sugerido por FALCONER (1960), as correlações usando dados de  $F_1$  foram consideradas ambientes e aquelas com dados de  $F_2$ , fenotípicas. As genotípicas foram calculadas pela seguinte fórmula:

$$r_F = \sqrt{H_x} \sqrt{H_y} \quad r_G \quad + \quad \sqrt{E_x} \sqrt{E_y} \quad r_A$$

onde:

$r_F$  = correlação fenotípica entre os caracteres x e y;

$r_G$  = correlação genotípica entre x e y;

$r_A$  = correlação ambiente entre x e y;

$H_x$  e  $H_y$  = herdabilidades em sentido restrito para os caracteres x e y respectivamente, considerando os três cruzamentos em conjunto;

$$E_x = 1 - H_x, E_y = 1 - H_y.$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Aplicando o teste de Tukey a 5% para a comparação entre o comprimento da raiz, após 72 horas em solução nutritiva completa, seguido de um crescimento de 48 horas em solução contendo 3 mg/litro de  $Al^{3+}$ , verificou-se que o 'BH-1146' foi o mais tolerante, diferindo dos cultivares IAC-17 e Alondra-S-46; IAC-17 foi mais tolerante a essa concentração de  $Al^{3+}$  em relação a 'Alondra-S-46', confirmando os resultados obtidos por CAMARGO & OLIVEIRA (1981).

QUADRO 1. Análise de variância para comprimento da raiz de genótipos parentais,  $F_1$  e  $F_2$  dos cruzamentos para tolerância a dois níveis de alumínio em trigo

Causas de variação	G.L.	Q.M.	
		Comprimento da raiz	
		3mg/l de $Al^{3+}$	6mg/l de $Al^{3+}$
mm			
Repetições	1	0,43	0,32
Genótipos	(8)	164,26**	84,84**
Entre gerações	2	90,71	123,89**
Dentro de gerações	(6)	188,78**	71,83**
Pais	2	306,59**	181,07**
$F_1$ s	2	128,01*	3,61
$F_2$ s	2	131,76*	30,81*
Genótipos x rep.	(8)	2,09	1,42
Entre ger. x rep.	2	4,96	0,85
Dentro ger. x rep.	(6)	1,13	1,61
Pais x rep.	2	0,22	2,58
$F_1$ s x rep.	2	1,70	0,95
$F_2$ s x rep.	2	1,46	1,32
Total	17		

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

QUADRO 2. Análise de variância para produção de grãos e sete caracteres agrônômicos de genótipos parentais, F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> dos cruzamentos para tolerância ao alumínio em trigo

Causas de variação	G.L.	Q.M.									
		Compr. espiga cm	Espiguetas/ espiga nº	Grãos/ espiga nº	Peso de cem grãos g	Grãos/es- pigueta nº	Altura plantas cm	Espigas/ planta nº	Produção de grãos g		
Repetições	3	0,21	0,25	10,81	0,05	0,070**	94,90**	0,33	0,97		
Genótipos	(8)	3,15**	6,35**	61,23**	1,58**	0,050**	380,18**	0,65	15,89**		
Entre gerações	2	1,01**	1,23**	5,51	3,03**	0,050	144,57*	1,04	40,49*		
Dentro de gerações	(6)	3,86**	8,05**	79,81**	1,09**	0,050**	458,72**	0,52	7,69**		
Pais	2	6,40**	17,37**	52,26**	3,06**	0,005	1009,81**	0,95	11,02**		
F <sub>1</sub> s	2	3,45**	4,26**	108,09**	0,06	0,095*	175,47**	0,12	9,51		
F <sub>2</sub> s	2	1,75**	2,53**	79,09**	0,15	0,045	190,90**	0,51	2,53		
Genótipos x rep.	(24)	0,07	0,20	6,84	0,05	0,010	18,29	0,54	2,66		
Entre ger. x rep.	6	0,04	0,07	2,21	0,07	0,010	15,68	1,00	5,05		
Dentro ger. x rep.	(18)	0,07	0,24	8,39	0,05	0,010	19,16	0,39	1,87		
Pais x rep.	6	0,06	0,25	4,54	0,02	0,007	20,16	0,29	0,49		
F <sub>1</sub> s x rep.	6	0,08	0,33	17,61	0,08	0,010	23,30	0,59	3,15		
F <sub>2</sub> s x rep.	6	0,10	0,15	3,02	0,05	0,015	14,00	0,28	1,97		
Total	35										

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

QUADRO 3. Médias e diferenças mínimas significativas (d.m.s.), pelo teste de Tukey, para comprimento das raízes, produção de grãos e sete caracteres agrônômicos de genótipos parentais, F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> dos cruzamentos para tolerância ao alumínio em trigo

Genótipos	Comprimento da raiz		Compr. espiga	Espiguetas/espiga	Grãos/espiga	Peso de cem grãos	Grãos/espiguetta	Altura das plantas	Espigas/planta	Produção de grãos
	3mg/l Al <sup>3+</sup>	6mg/l Al <sup>3+</sup>								
	mm	mm								
BH-1146 (P <sub>1</sub> )	32,8	21,4	9,8	20,3	46,6	5,03	2,30	118,0	6,2	10,83
IAC-17 (P <sub>2</sub> )	21,1	6,1	11,4	22,8	51,3	4,96	2,26	109,2	5,7	11,74
Alondra-S-46 (P <sub>3</sub> )	8,1	3,9	12,3	24,4	53,7	3,48	2,24	87,2	6,7	8,52
d.m.s. (5%)	2,7	9,4	0,5	1,1	4,6	0,27	0,18	9,7	1,1	1,52
P <sub>1</sub> x P <sub>2</sub> (F <sub>1</sub> )	20,9	2,8	10,0	21,0	45,8	5,45	2,22	117,7	6,0	12,05
P <sub>1</sub> x P <sub>3</sub> (F <sub>1</sub> )	12,9	1,9	11,2	22,3	54,7	5,62	2,52	112,9	5,7	13,23
P <sub>2</sub> x P <sub>3</sub> (F <sub>1</sub> )	4,9	0,2	11,9	23,1	55,0	5,45	2,40	104,6	5,8	9,34
d.m.s. (5%)	7,6	5,7	0,6	1,2	9,1	0,60	0,22	10,5	1,7	3,85
P <sub>1</sub> x P <sub>2</sub> (F <sub>2</sub> )	16,5	2,5	10,9	22,4	49,1	5,10	2,26	107,2	5,8	10,38
P <sub>1</sub> x P <sub>3</sub> (F <sub>2</sub> )	25,5	8,7	11,7	22,3	47,6	4,77	2,19	115,6	5,9	10,90
P <sub>2</sub> x P <sub>3</sub> (F <sub>2</sub> )	9,3	1,4	12,2	23,7	55,9	4,75	2,40	101,9	5,2	11,34
d.m.s. (5%)	7,1	6,7	0,7	0,8	3,8	0,48	0,27	8,1	1,1	3,05

O híbrido IAC-17 x Alondra-S-46 em geração F1 exibiu menor crescimento de raiz, diferindo significativamente dos demais. Quando se utilizaram soluções de tratamento contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ , 'BH-1146' foi o mais tolerante, diferindo dos cultivares IAC-17 e Alondra-S-46, que não diferiram entre si. Não se detectaram diferenças significativas entre os F1s em relação à tolerância a 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ . O híbrido IAC-17 x Alondra-S-46 em geração F2 também apresentou menor crescimento das raízes nessa concentração de  $Al^{3+}$ , diferindo, porém, somente do híbrido BH-1146 x Alondra-S-46.

Em relação ao comprimento da espiga, o 'Alondra-S-46' apresentou as espigas mais compridas, diferindo significativamente do 'IAC-17' e do 'BH-1146'. Este apresentou as espigas mais curtas, diferindo significativamente do 'IAC-17'. O híbrido IAC-17 x Alondra-S-46 em geração F1 mostrou espigas mais compridas que as do híbrido BH-1146 x Alondra-S-46, não diferindo deste, porém diferindo das do híbrido BH-1146 x IAC-17. O híbrido IAC-17 x Alondra-S-46 em geração F2 diferiu dos demais, com as espigas mais compridas. Alondra-S-46 poderia ser utilizado em um programa de cruzamentos como fonte de espiga comprida, pois mostrou-se eficiente em transmitir esta característica às suas progênesis.

O 'Alondra-S-46' apresentou mais espiguetas por espiga, diferindo significativamente dos cultivares IAC-17 e BH-1146, que diferiram entre si: o 'BH-1146' apresentou menos espiguetas por espiga. O híbrido 'IAC-17' x 'Alondra-S-46' em gerações F1 e F2 apresentou o maior número de espiguetas por espiga, diferindo dos demais, com exceção do 'BH-1146' x 'Alondra-S-46' em geração F1. O 'Alondra-S-46' mostra tendências de elevar o número de espiguetas por espiga das populações em relação aos demais cultivares.

Considerando o número de grãos por espiga, 'Alondra-S-46' e 'IAC-17' mostraram maior índice, diferindo significativamente do 'BH-1146'. O genótipo IAC-17 x Alondra-S-46 em geração F1 apresentou o maior número de grãos por espiga, porém somente diferiu estatisticamente do BH-1146 x IAC-17. Entre os híbridos em geração F2, o IAC-17 x Alondra-S-46 foi o que apresentou maior número de grãos por espiga, diferindo significativamente dos demais. 'IAC-17' e 'Alondra-S-46' mostraram-se promissores em transmitir aos seus descendentes a característica maior número de grãos por espiga.

Os cultivares BH-1146 e IAC-17 exibiram os grãos mais pesados, diferindo apenas do 'Alondra-S-46', confirmando os resultados obtidos por McLUNG et al. (1986), onde as linhagens de trigo de porte alto apresentaram consistentemente grãos mais pesados em relação às de porte semi-anão. Não se detectaram diferenças significativas em relação ao peso de cem grãos entre os híbridos estudados em geração F1 e F2.

Considerando o número de grãos por espiguetas, não houve diferenças significativas entre os cultivares pais e os F2s. O híbrido BH-1146 x Alondra-S-46, em geração F1, apresentou maior número de grãos por espiguetas, diferindo significativamente, porém, só do híbrido BH-1146 x IAC-17.

O 'Alondra-S-46' apresentou a menor altura, diferindo significativamente dos outros dois cultivares de porte alto, que não diferiram entre si. O híbrido BH-1146 x IAC-17, em geração F1, teve as plantas mais altas, diferindo, porém, somente do híbrido IAC-17 x Alondra-S-46. O BH-1146 x Alondra-S-46, em geração F2, mostrou as plantas mais altas, diferindo significativamente dos demais.

Não se detectaram diferenças significativas entre os cultivares pais, F1s e F2s em relação ao número de espigas por planta.

Em relação à média de produção de grãos, os cultivares IAC-17 e BH-1146 apresentaram os maiores valores, não diferindo entre si, mas sim do 'Alondra-S-46'. O híbrido BH-1146 x Alondra-S-46, em geração F1, mostrou a maior produção de grãos, diferindo, porém, apenas do IAC-17 x Alondra-S-46. As médias das populações F1, com exceção da proveniente do híbrido IAC-17 x Alondra-S-46, foram superiores às médias de ambos os pais, evidenciando heterose para esse caráter. Esses resultados também foram encontrados por JOHNSON et al. (1966) e CAMARGO et al. (1980). Não se detectaram diferenças significativas para produção de grãos nos híbridos em geração F2.

O quadro 4 apresenta as estimativas das herdabilidades em sentido amplo ( $H_{BS}$ ) e restrito ( $H_{NS}$ ), para todos os caracteres estudados, derivadas de dados obtidos nas gerações parentais, F1s e F2s das três populações híbridas.

QUADRO 4. Herdabilidade em sentido amplo e restrito para dez caracteres de trigo envolvendo três genótipos parentais e seus cruzamentos

Caráter	$H_{BS}^{(1)}$	$H_{NS}^{(2)}$
Altura das plantas (cm)	0,29	0,37
Produção de grãos (g)	0,13	0,16
Comprimento da espiga (cm)	0,69	0,64
Espiguetas/espiga ( $\bar{n}^2$ )	0,54	0,47
Grãos/espiga ( $n^2$ )	0,09	0,25
Grãos/espiguetas ( $n^2$ )	0,24	0,19
Peso de cem grãos (g)	0,73	0,21
Espigas/planta ( $n^2$ )	0,11	0,03
Comprimento da raiz (3mg/l de $Al^{3+}$ )	—	0,70
Comprimento da raiz (6mg/l de $Al^{3+}$ )	—	0,54

(<sup>1</sup>)  $H_{BS}$  = Herdabilidade em sentido amplo. (<sup>2</sup>)  $H_{NS}$  = Herdabilidade em sentido restrito.

Os valores estimados para a herdabilidade em sentido amplo foram altos para peso de cem grãos e comprimento da espiga; médios para número de espiguetas por espiga e baixos para altura das plantas, produção de grãos, número de grãos por espiga e por espiguetas e número de espigas por planta. Esses valores indicam que grande parte das variações obtidas para os dois primeiros caracteres são de origem genética, nas populações estudadas, confirmando os resultados de JOHNSON et al. (1966).

Os valores da herdabilidade em sentido restrito foram menores do que os da herdabilidade em sentido amplo, exceto para a altura das plantas, produção de grãos e número de grãos por espiga, onde foram ligeiramente superestimados pelo método da regressão.

Os valores da herdabilidade em sentido restrito para comprimento da espiga e comprimento da raiz após um tratamento em soluções contendo 3 mg/litro de  $Al^{3+}$  foram altos; para número de espiguetas por espiga e comprimento da raiz após um tratamento em soluções contendo 6 mg/litro de  $Al^{3+}$ , médios, e para altura das plantas, produção de grãos, número de grãos por espiga e por espiguetas, peso de cem grãos e número de espigas por planta, baixos. Esses resultados indicam que grande parte da variabilidade genética total para comprimento da espiga, comprimento das raízes após um tratamento em soluções contendo 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  e número de espiguetas por espiga, é devida a genes que se comportam de maneira aditiva, corroborando os resultados de CAMARGO (1984) e CAMARGO et al. (1980). KETATA et al. (1976), estudando oito caracteres agrônômicos em um cruzamento de trigo de inverno, concluíram que os efeitos aditivos foram a principal fonte de variação para peso de cem grãos, indicando que seleções nas primeiras gerações deveriam ser realizadas. Para os demais caracteres em estudo, os dados sugerem que a seleção poderia ser efetuada nas últimas gerações quando o valor genético da progênie seria mais precisamente determinado (KETATA et al., 1976).

As correlações ambientais ( $r_A$ ), fenotípicas ( $r_F$ ) e genéticas ( $r_G$ ) entre produção de grãos e sete outros caracteres agrônômicos para os cruzamentos envolvendo os três cultivares de trigo encontram-se no quadro 5.

As correlações fenotípicas entre a produção de grãos e os demais caracteres agrônômicos foram positivas e altamente significativas ao nível de 1%, exceto entre a produção e o número de espiguetas por espiga para a população BH-1146 x IAC-17, que foi positiva e significativa ao nível de 5%; entre a produção e o número de espiguetas por espiga para a população BH-1146 x Alondra-S-46, que foi negativa e significativa ao nível de 5%; entre produção de grãos e comprimento da espiga e entre produção de grãos e altura das plantas para a população BH-1146 x Alondra-S-46, e entre produção de grãos e número de espiguetas por espiga para a população IAC-17 x Alondra-S-46, que foram não-significativas. Associações positivas entre produção de grãos e altura das plantas foram também observadas por JOHNSON et al. (1966). Correlações positivas e altamente significativas entre produção de grãos e oito caracteres agrônômicos foram obtidas por CAMARGO & OLIVEIRA (1983).

QUADRO 5. Correlações ambientes, fenotípicas e genotípicas entre produção de grãos e sete outros caracteres agrônômicos em três cruzamentos de trigo

Caráter	Correlação <sup>(1)</sup>	BH-1146 x IAC-17	BH-1146 x Alondra-S-46	IAC-17 x Alondra-S-46
Peso de cem grãos (g)	r <sub>A</sub>	0,39**	0,09	0,20
	r <sub>F</sub>	0,32**	0,59**	0,55**
	r <sub>G</sub>	0,34	>1,00	>1,00
Grãos/espigeta (nº)	r <sub>A</sub>	0,74**	0,63**	0,63**
	r <sub>F</sub>	0,55**	0,44**	0,53**
	r <sub>G</sub>	-0,36	-0,47	0,07
Grãos/espiga (nº)	r <sub>A</sub>	0,73**	0,49**	0,72**
	r <sub>F</sub>	0,52**	0,42**	0,56**
	r <sub>G</sub>	-0,28	0,17	-0,06
Espiguetas/espiga (nº)	r <sub>A</sub>	0,25	0,24	0,47**
	r <sub>F</sub>	0,19*	0,22*	0,15
	r <sub>G</sub>	0,09	< -1,00	-0,63
Comprimento da espiga (cm)	r <sub>A</sub>	0,54**	0,46**	0,68**
	r <sub>F</sub>	0,38**	-0,06	0,38**
	r <sub>G</sub>	0,25	-0,98	0,02
Altura das plantas (cm)	r <sub>A</sub>	0,39**	0,41**	0,36*
	r <sub>F</sub>	0,26**	0,12	0,34**
	r <sub>G</sub>	-0,07	-0,73	0,33
Espigas/planta (nº)	r <sub>A</sub>	0,84**	0,66**	0,96**
	r <sub>F</sub>	0,54**	0,40**	0,59**
	r <sub>G</sub>	< -1,00	< -1,00	-0,12

(<sup>1</sup>) r<sub>A</sub> = correlação ambiente; r<sub>F</sub> = correlação fenotípica; r<sub>G</sub> = correlação genotípica.

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

No quadro 6, encontram-se as correlações ambientes (r<sub>A</sub>), fenotípicas (r<sub>F</sub>) e genotípicas (r<sub>G</sub>) entre o comprimento da raiz medida nos tratamentos de 3 e 6 mg/litro de Al<sup>3+</sup> e oito caracteres agrônômicos para os cruzamentos envolvendo os cultivares BH-1146, IAC-17 e Alondra-S-46.

QUADRO 6. Correlações ambientes, fenotípicas e genotípicas entre o comprimento de raízes testadas em soluções nutritivas contendo 3 e 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  e oito caracteres agrônômicos

Caráter	Correlação (1)	Cruzamentos					
		BH-1146 x IAC-17		BH-1146 x Alondra-S-46		IAC-17 x Alondra-S-46	
		3mg/l	6mg/l	3mg/l	6mg/l	3mg/l	6mg/l
Produção de grãos (g)	$r_A$	0,35	0,07	0,13	0,53**	0,19	0,33
	$r_F$	0,20	-0,01	0,09	0,20	0,11	0,15
	$r_G$	0,07	-0,18	0,93	-0,43	0,05	-0,19
Altura das plantas (cm)	$r_A$	0,04	0,08	-0,21	0,17	-0,17	0,15
	$r_F$	0,36**	0,22	0,21	-0,01	-0,23	-0,04
	$r_G$	0,67	0,40	0,59	-0,21	-0,31	-0,28
Grãos/espiguetas (nº)	$r_A$	0,49**	-0,03	-0,15	0,51*	0,23	0,27
	$r_F$	0,01	0,01	0,18	0,14	0,06	-0,16
	$r_G$	-0,65	0,08	0,68	0,56	-0,15	<-1,00
Comprimento da espiga (cm)	$r_A$	0,28	-0,03	0,06	0,50*	-0,04	0,11
	$r_F$	0,40**	0,06	0,31*	-0,07	-0,11	-0,07
	$r_G$	0,58	0,11	0,46	-0,17	-0,17	0,13
Espiguetas/espiga (nº)	$r_A$	0,29	0,16	0,01	0,16	0,23	-0,12
	$r_F$	-0,40**	-0,10	0,37**	-0,03	-0,17	0,17
	$r_G$	-0,58	-0,23	0,64	-0,09	-0,32	0,36
Grãos/espiga (nº)	$r_A$	0,59**	0,14	-0,12	0,46*	0,26	0,23
	$r_F$	-0,19	-0,03	0,36	0,14	-0,05	-0,04
	$r_G$	-0,56	-0,13	0,88	0,21	-0,17	0,19
Peso de cem grãos (g)	$r_A$	-0,11	0,07	0,05	-0,04	-0,18	0,02
	$r_F$	0,13	-0,13	-0,25	0,18	0,13	0,01
	$r_G$	0,31	-0,42	-0,67	0,56	0,38	0,02
Espigas/planta (nº)	$r_A$	0,28	0,03	0,17	0,43*	0,29	0,37
	$r_F$	0,29	0,17	0,24	0,01	0,05	0,11
	$r_G$	>1,00	>1,00	>1,00	-0,75	0,08	0,23

(1)  $r_A$  = correlação ambiente;  $r_F$  = correlação fenotípica;  $r_G$  = correlação genotípica.

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

Nos cruzamentos estudados, a tolerância a 3 mg/litro de  $Al^{3+}$  não foi associada com altura das plantas (com exceção da correlação fenotípica no cruzamento BH-1146 x IAC-17); produção de grãos; número de grãos por espiguetas e por espiga; peso de cem grãos e número de espigas por planta. As correlações fenotípicas entre tolerância a 3 mg/litro de  $Al^{3+}$  e comprimento da espiga nos cruzamentos BH-1146 x IAC-17 e BH-1146 x Alondra-S-46 foram positivas e significativas e para o cruzamento IAC-17 x Alondra-S-46 não foi significativa. Para o cruzamento BH-1146 x IAC-17, a correlação fenotípica entre a tolerância a 3 mg/litro de  $Al^{3+}$  e o número de espiguetas por espiga foi negativa e significativa; para o BH-1146 x Alondra-S-46 foi positiva e significativa, e para o IAC-17 x Alondra-S-46 não foi significativa. A tolerância a 6 mg/litro de  $Al^{3+}$  também não foi associada a esses caracteres agrônômicos, confirmando os resultados de CAMARGO (1984). Considerando essas correlações, verifica-se que seria possível selecionar, nas populações segregantes em estudo, plantas tolerantes ao alumínio, de porte médio, com maior fertilidade da espiga e de alto potencial produtivo, que seriam adaptadas à maioria dos solos ácidos existentes nas regiões tritícolas brasileiras.

## SUMMARY

### WHEAT BREEDING, XIII. VARIANCE, HERITABILITY AND CORRELATIONS IN WHEAT CROSSES FOR GRAIN YIELD AND TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY

The aluminum tolerant cultivar BH-1146 was crossed with the moderately tolerant cultivars IAC-17 and Alondra-S-46. Parents, F1's and F2's were tested for their seedling reaction to 3 and 6 ppm of  $Al^{3+}$  in nutrient solution. Grain yield, plant height, number of spikes per plant, number of spikelets per spike, number of grains per spike, number of grains per spikelet, 100-grain-weight and spike length were also determined for these populations at maturity. All data were determined on an individual plant basis. Broad sense heritability estimates for 100-grain-weight, head length and number of spikelets per spike were 0.73, 0.69 and 0.54 respectively. The values for plant height, number of grain per spike and per spikelet, and number of spike per plant ranged from 0.09 to 0.29. Broad sense heritability for grain yield was low and equal to 0.13. Narrow sense heritability estimates for all characteristics under study except for 100-grain-weight and number of spikes per plant showed that a major part of the total genetic variation was associated with additive gene action. The phenotypic correlations between grain yield and all the other characteristics were positive and significant at 1% level for most of the populations. Correlations between grain yield and number of spikelets per spike, in populations BH-1146 x IAC-17, showed to be positive and significant only at the 5% probability level. Grain yield and number of spikelets per

spike in population BH-1146 x Alondra-S-46 were negative and significantly correlated only at the 5% probability level. Non significant correlations between grain yield and head length and between grain yield and plant height in population BH-1146 x Alondra-S-46 and between grain yield and number of spikelets per spike in population IAC-17 x Alondra-S-46. Tolerance to 3 and 6 ppm of  $Al^{3+}$  in nutrient solutions was not associated with plant height (except for BH-1146 x IAC-17 at 3 ppm of  $Al^{3+}$ ), grain yield, number of grains per spikelet (head fertility), spike length (except for BH-1146 x IAC-17 and BH-1146 x Alondra-S-46 at 3 ppm of  $Al^{3+}$ ), number of spikelets per spike (except for BH-1146 x IAC-17 and BH-1146 x Alondra-S-46 at 3 ppm of  $Al^{3+}$ ), number of grain per spike, 100-grain-weight and number of spike per plant. The results suggested that there is a possibility of selecting plant types that combine  $Al^{3+}$  tolerance, semi-dwarf height levels and high yield potential, to be grown on acid soils.

**Index terms:** wheat, broad sense heritability, narrow sense heritability, correlation, tolerance, aluminum toxicity, grain yield, plant height, head fertility.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRIGGS, F.N. & KNOWLES, P.F. Introduction to plant breeding. Davis, Reinhold Publishing Corporation, 1977, 426p.
- CAMARGO, C.E.O. Melhoramento do trigo. I. Hereditariedade da tolerância ao alumínio tóxico. *Bragantia*, Campinas, **40**:33-45, 1981.
- . Melhoramento do trigo. VI. Hereditariedade da tolerância a três concentrações de alumínio em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):279-291, 1984.
- . Melhoramento do trigo. X. Estimativas das herdabilidades e correlações entre tolerância à toxicidade de alumínio e produção de grãos com outros caracteres agrônômicos em trigo. *Bragantia*, Campinas, **43**(2):615-628, 1984.
- ; KRONSTAD, W.E. & METZGER, R.J. Plant-progeny regression estimates and associations of height levels with aluminum toxicity and grain yield in wheat. *Crop Science*, **20**:355-358, 1980.
- & OLIVEIRA, O.F. Melhoramento do trigo V: estimativas da herdabilidade e correlações entre altura, produção de grãos e outros caracteres agrônômicos em trigo. *Bragantia*, Campinas, **42**:131-148, 1983.
- & ———. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, **40**:21-31, 1981.
- FALCONER, D.S. Introduction to quantitative genetics. New York, Ronald Press, 1960. 365p.
- FONSECA, S. & PATTERSON, F.L. Yield components, heritabilities and interrelationships in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*, **8**: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*, **57**: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*, **6**:336-338, 1966.
- KETATA, H.; EDWARDS, L.H.; SMITH, E.L. Inheritance of eight agronomic characters in a winter wheat cross. *Crop Science*, **16**:19-22, 1976.
- LAGOS, M.B.; FERNANDES, M.J.B.M.; CARVALHO, F.J.F. & CAMARGO, C.E.O. Localização do gene(s) de tolerância ao crestamento em trigo cv. BH-1146 (*Triticum aestivum* L.) Trabalho apresentado na 13ª Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Cruz Alta, 1984. 1p.
- McLUNG, A.M.; CANTRELL, R.G.; QUICK, J.S. & GREGORY, R.S. Influence of the Rht 1 semidwarf gene on yield, yield components, and grain protein in durum wheat. *Crop Science*, **26**:1095-99, 1986.
- MUGWIRA, L.M.; SAPRA, V.T.; PATEL, S.U. & CHOUDRY, M.A. Aluminum tolerance of triticale and wheat cultivars developed in different regions. *Agronomy Journal*, **73**:470-475, 1981.