

MELHORAMENTO DO TRIGO. XI. ESTUDO GENÉTICO DA TOLERÂNCIA À TOXICIDADE DE FERRO (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2,3)

RESUMO

O cultivar Siete Cerros, tolerante, e o BH-1146, sensível à toxicidade de ferro, foram cruzados, sendo as sementes dos pais e dos cruzamentos em geração F₂ cultivadas em soluções nutritivas arejadas contendo 0,56; 5 e 10mg/litro de Fe em pH 4,0 e temperatura de 27 ± 1°C. O comprimento das raízes primárias centrais dos genótipos estudados, após dez dias de cultivo em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de ferro, serviu de base para avaliar a tolerância a esse elemento. Verificou-se que os genes existentes no 'Siete Cerros', responsáveis pela tolerância a 10mg/litro de ferro nas soluções, apresentaram um comportamento parcialmente dominante, e os genes encontrados em 'BH-1146', um comportamento parcialmente recessivo. Os valores da herdabilidade em sentido amplo para a tolerância à toxicidade de ferro, expressa na capacidade de crescimento das raízes das plântulas de trigo em soluções nutritivas contendo 5 e 10mg/litro de ferro foram altos, indicando que grande parte da variabilidade encontrada na população BH-1146 x Siete Cerros, em geração F₂, foi de origem genética, permitindo, pois, seleções nas primeiras gerações segregantes para essa característica.

Termos de indexação: tolerância à toxicidade de ferro em trigo; Siete Cerros, cultivar tolerante à toxicidade de ferro; BH-1146, cultivar sensível à toxicidade de ferro; soluções nutritivas.

(1) Com verba suplementar do Acordo do Trigo entre as Cooperativas de Produtores Rurais do Vale do Paranapanema e a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, mediante o Instituto Agrônomico. Trabalho apresentado na IX Reunião Norte-Brasileira de Pesquisa de Trigo. Brasília (DF), 10-14 de janeiro de 1983. Recebido para publicação em setembro de 1983.

(2) Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônomico (IAC), Caixa Postal 28, 13100 - Campinas (SP).

(3) Com bolsa de suplementação do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

Uma das soluções para a presença de elevados teores de alumínio, ferro e manganês em solos ácidos, tóxicos às plantas cultivadas, seria a obtenção de cultivares portadores de tolerância genética a esses elementos.

O cultivar de trigo BH-1146 tem apresentado grande tolerância ao efeito prejudicial do alumínio em solução nutritiva e no solo, enquanto o Siete Cerros tem mostrado elevada suscetibilidade a esse elemento (CAMARGO & OLIVEIRA, 1981). 'BH-1146' diferiu de 'Siete Cerros' por um par de genes dominantes para tolerância ao Al^{3+} (CAMARGO, 1981).

Em soluções nutritivas contendo elevadas concentrações de manganês, verificou-se que o 'BH-1146' foi o mais sensível entre os estudados e que 'Siete Cerros' apresentou-se como tolerante (CAMARGO & OLIVEIRA, 1983). Esse comportamento inverso também foi obtido por FOY et alii (1973), que relataram reações semelhantes entre os cultivares de trigo Atlas-66 (tolerante ao Al^{3+} e sensível ao Mn^{2+}) e Monon (sensível ao Al^{3+} e tolerante ao Mn^{2+}).

Os valores da herdabilidade em sentido amplo para tolerância a níveis tóxicos de Mn em solução nutritiva, estudados nas populações oriundas do cruzamento BH-1146 x Siete Cerros, foram altos; essa indicação de que grande parte da variabilidade encontrada foi de origem genética, sugere que seleções visando às plantas tolerantes ao Mn^{2+} poderiam ser efetivas a partir das gerações F_2 e F_3 (CAMARGO, 1983). CAMARGO (1983) demonstrou ser possível transferir, por meio de cruzamento entre os cultivares BH-1146 e Siete Cerros, a tolerância ao manganês do Siete Cerros para o BH-1146 ou a tolerância ao alumínio deste ao Siete Cerros.

Empregando soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de ferro (0; 5; 10; 20 e 40mg/litro), foi possível classificar os cultivares de trigo BH-1146, IAC-18, IAC-24, IAC-5, IAC-13, IAC-17 e IRN-204-63 como sensíveis e, Siete Cerros, CNT-8 e Alondra-4546, como os mais tolerantes entre os estudados (CAMARGO & FREITAS, 1985).

O presente trabalho tem por objetivo estudar o tipo de ação gênica envolvida na expressão de tolerância à toxicidade de ferro em solução nutritiva de uma população segregante de trigo originária do cruzamento entre um cultivar tolerante e outro sensível ao ferro nessas condições.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os cultivares de trigo BH-1146 (P_1) e Siete Cerros (P_2), bem como o cruzamento deles resultante, em geração F_2 , foram testados para

tolerância a diferentes concentrações de ferro, empregando-se a mesma técnica usada por CAMARGO & FREITAS (1985) e transcrita a seguir:

As sementes dos diferentes genótipos (P_1 , P_2 e F_2) foram cuidadosamente lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% e colocadas para germinar em caixas de Petri por 24 horas. Após esse tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

Quantidades semelhantes de sementes uniformes de cada genótipo foram escolhidas e colocadas sobre a parte superior de três telas de náilon que foram adaptadas sobre três vasilhas plásticas de 8,3 litros de capacidade contendo soluções nutritivas, de maneira que as sementes fossem mantidas úmidas e as radículas emergentes tocassem nas soluções, tendo, pois, um pronto suprimento de nutrientes.

A composição da solução nutritiva utilizada, cujo pH foi ajustado para 4,0 com uma solução de H_2SO_4 1N era a seguinte: $Ca(NO_3)_2$ 1mM; $MgSO_4$ 0,5mM; KNO_3 1mM; $(NH_4)_2SO_4$ 0,109mM; KH_2PO_4 0,125mM; $MnSO_4$ 0,5 μ M; $CuSO_4$ 0,075 μ M; $ZnSO_4$ 0,2 μ M; NaCl 7,5 μ M; Fe-CYDTA 10 μ M; Na_2MoO_4 0,025 μ M e H_3BO_3 2,5 μ M. As vasilhas plásticas contendo as soluções foram colocadas em banho-maria a $27 \pm 1^\circ C$ dentro do laboratório e, o experimento, mantido com luz artificial durante todo o tempo.

As plantas desenvolveram-se nessas condições por 48 horas. Decorrido esse período, adicionou-se a cada uma das três soluções $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ de modo a serem obtidas as concentrações finais de 0,56; 5 e 10mg/litro de ferro.

As plantas cresceram nas diferentes soluções de tratamento com ferro continuamente arejadas, durante dez dias, sendo seu pH mantido o mais próximo possível de 4,0 com ajustamentos diários.

Após dez dias, as plantas foram retiradas, determinando-se o crescimento da raiz primária central de cada plântula em milímetro.

Com os dados obtidos do comprimento das raízes dos diferentes genótipos estudados em três concentrações de ferro, foram estimados os valores da herdabilidade em sentido amplo, segundo o método de BRIGGS & KNOWLES (1977), bem como o grau de dominância, segundo FALCONER (1960) para raízes mais compridas, mediante a seguinte fórmula:

$$D = \bar{P}_1 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2$$

$$d_2 = [\bar{F}_2 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2] / D$$

onde:

- \overline{D} = diferencial;
 \overline{P}_1 = média do comprimento da raiz do pai que exibiu raízes mais compridas;
 \overline{P}_2 = média do comprimento da raiz do pai que exibiu raízes mais curtas;
 \overline{d}_2 = grau de dominância para a geração F_2 ;
 \overline{F}_2 = comprimento médio da raiz das plântulas em geração F_2 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de plantas, o comprimento médio das raízes, a variância e o coeficiente de variação das três populações (P_1 , P_2 e F_2) estudadas em soluções nutritivas arejadas contendo três diferentes concentrações de ferro encontram-se no quadro 1.

QUADRO 1 – Número de plantas, comprimento médio das raízes, variância, coeficiente de variação das três populações estudadas em soluções nutritivas contendo três diferentes concentrações de ferro.

Concentrações de Fe	Populações	Plantas estudadas	Comprimento médio das raízes	Variância	CV
mg/litro		nº	mm		%
0,56	BH-1146 (P_1)	10	200,4	219,44	7,39
	Siete Cerros (P_2)	14	133,9	317,50	13,30
	$P_1 \times P_2$ (F_2)	119	179,4	685,43	14,59
5,00	BH-1146 (P_1)	12	84,5	45,25	7,96
	Siete Cerros (P_2)	17	106,7	309,38	16,48
	$P_1 \times P_2$ (F_2)	121	123,4	774,91	22,55
10,00	BH-1146 (P_1)	14	24,4	33,10	23,58
	Siete Cerros (P_2)	16	89,7	186,59	15,23
	$P_1 \times P_2$ (F_2)	122	58,8	574,60	40,77

A frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares utilizados como pais, e das plântulas da população F_2 , proveniente do cruzamento entre ambos está representada nas figuras 1 e 2.

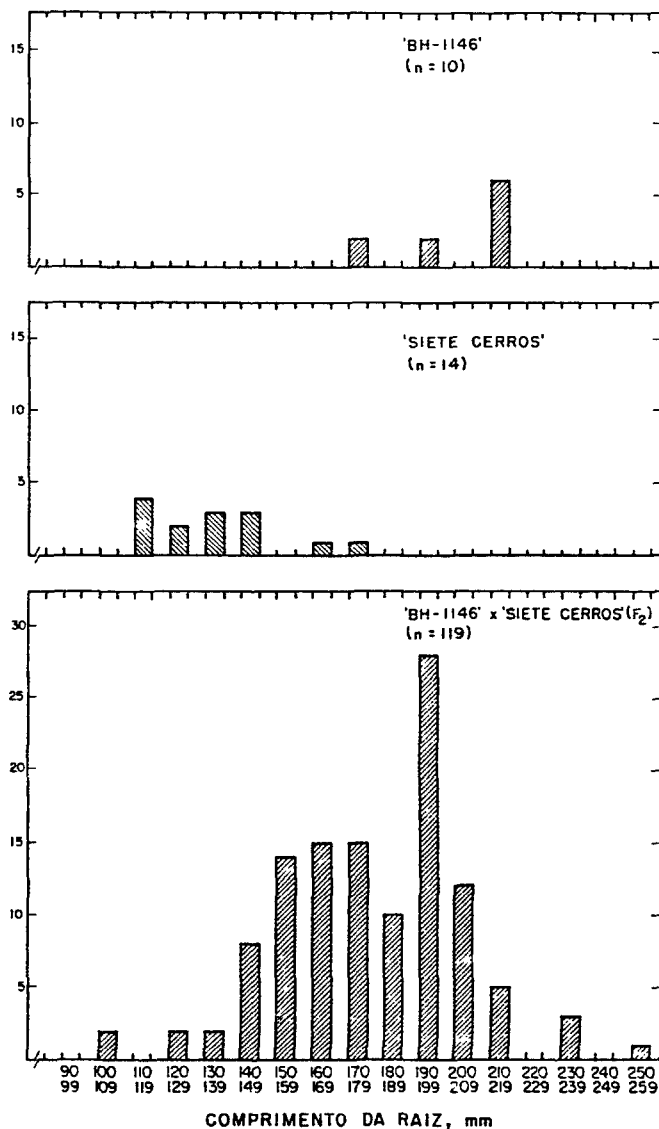


FIGURA 1 – Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares Siete Cerros e BH-1146, utilizados como pais, e das plântulas da população F_2 , originária do cruzamento entre ambos, observada quando cultivados em solução nutritiva contendo 0,56 mg/litro de ferro.

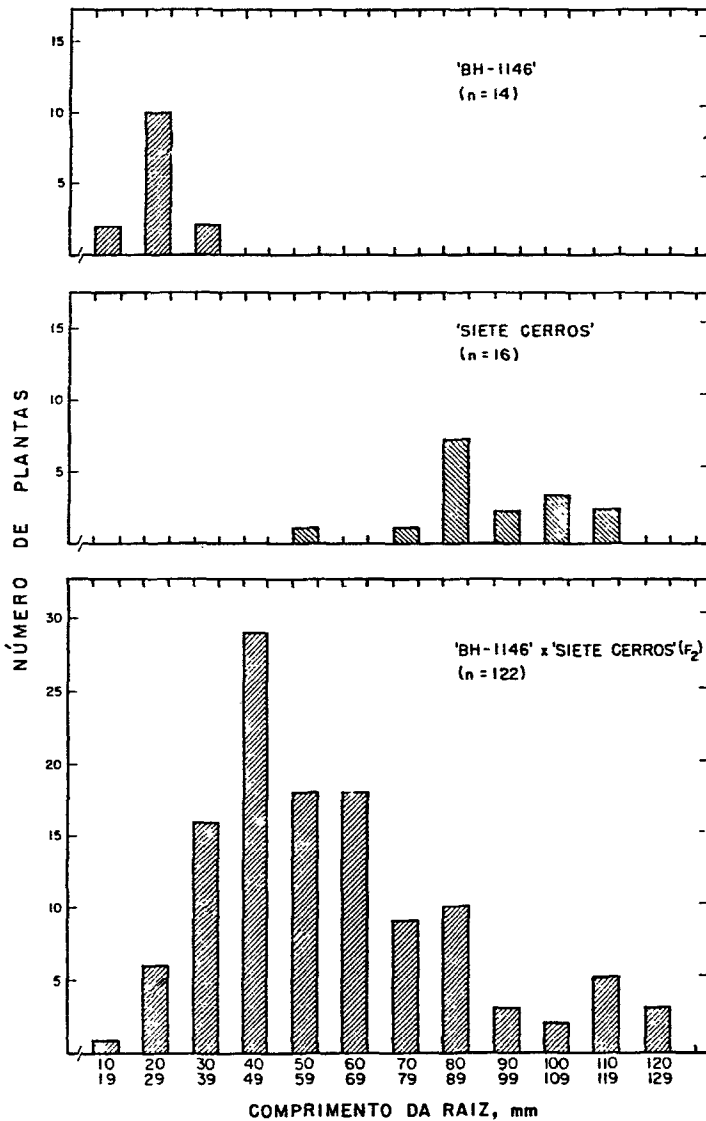


FIGURA 2 — Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares Siete Cerros e BH-1146, utilizados como pais, e das plântulas da população F_2 , originária do cruzamento entre ambos, observada quando cultivados em solução nutritiva contendo 10mg/litro de ferro.

As diferenças nos comprimentos das raízes dos três genótipos testados em soluções com 0,56mg/litro de ferro sugerem a presença de grande variabilidade genética; nessas condições, sem excesso de ferro, o cultivar BH-1146 apresentou raízes 49,7% mais compridas do que o Siete Cerros. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por CAMARGO & OLIVEIRA (1981) e CAMARGO (1983), onde o cultivar BH-1146 apresentou grande potencial genético para maior crescimento das raízes em relação ao 'Siete Cerros' em ausência de estresse de alumínio e manganês.

Na solução nutritiva com 5mg/litro de ferro verificou-se uma redução de 57,8% das raízes do BH-1146, e de 87,8% na solução de 10mg/litro de ferro. Esses valores demonstraram sua grande sensibilidade quando comparados com o Siete Cerros, que se apresentou tolerante aos níveis crescentes de ferro na solução, reduzindo o crescimento das raízes em relação ao nível de 0,56mg/litro de ferro, considerado normal, de 20,3 e 33%, respectivamente, quando foram adicionados 5 e 10mg/litro de ferro.

Pela figura 3, verifica-se que os sistemas radiculares desses cultivares, após um crescimento de dez dias em solução nutritiva arejada contendo 10mg/litro de ferro, apresentaram as seguintes características: BH-1146: raízes curtas, com mau desenvolvimento e descoloramento do meristema, e Siete Cerros: raízes bem desenvolvidas, e com presença de raízes secundárias.

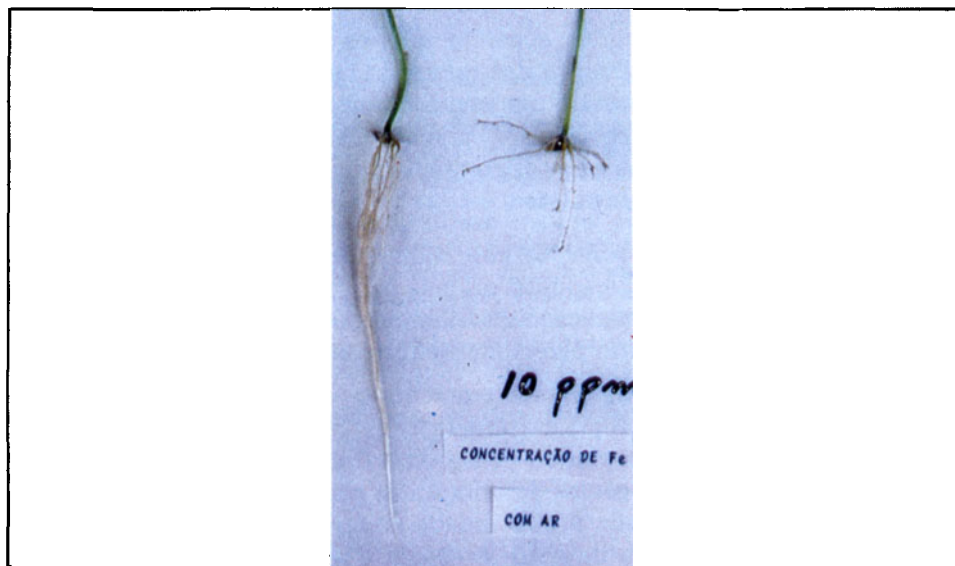


FIGURA 3 – Sistema radicular dos cultivares Siete Cerros e BH-1146, após dez dias de crescimento em solução nutritiva arejada contendo 10mg/litro de ferro.

A herdabilidade em sentido amplo e o grau de dominância calculados para comprimento das raízes nos níveis de 0,56; 5 e 10mg/litro de ferro nas soluções nutritivas, utilizando os dados para a população F_2 do cruzamento BH-1146 x Siete Cerros, bem como para os pais, encontram-se no quadro 2.

QUADRO 2 – Herdabilidade em sentido amplo (H) e grau de dominância (d) calculados para comprimento médio das raízes primárias centrais de trigo cultivado em soluções nutritivas contendo três diferentes concentrações de ferro.

Concentrações de Fe	H ⁽¹⁾	d ⁽²⁾
mg/litro		
0,56	0,608	+ 0,368
5,00	0,771	—
10,00	0,809	+ 0,054

$${}^{(1)} H = \{ \text{Var } F_2 - [(\text{Var } P_1 + \text{Var } P_2) / 2] \} / \text{Var } F_2$$

⁽²⁾ Grau de dominância igual a +1 significa dominância completa dos genes que condicionam raízes compridas e, -1, dominância completa dos genes que condicionam raízes curtas.

Os resultados obtidos sugerem que os genes que condicionaram maior capacidade de crescimento das raízes do cultivar BH-1146, em ausência do estresse de ferro, tiveram um comportamento parcialmente dominante, enquanto os que condicionaram a característica raízes em menor comprimento no Siete Cerros, nas mesmas condições, exibiram um comportamento parcialmente recessivo a esse caráter.

Considerando as soluções contendo 10mg/litro de ferro, os genes existentes no Siete Cerros, responsáveis pela tolerância à toxicidade de ferro, apresentaram um comportamento parcialmente dominante, e os genes do BH-1146 um comportamento parcialmente recessivo.

Os valores da herdabilidade em sentido amplo para o comprimento das raízes, empregando 0,56; 5 e 10mg/litro de ferro nas soluções nutritivas foram considerados altos, variando de 0,608 a 0,809. Com esses valores, poderia ser esperada, em progênies de uma única planta, na geração F_2 do cruzamento considerado, grande probabilidade de repetição do comportamento ou característica da planta da qual se originou. Desse modo, seria possível transferir a característica maior comprimento da raiz do 'BH-1146' ao 'Siete Cerros', em ausência do estresse de ferro, e a tolerância à toxicidade de ferro do 'Siete Cerros' ao 'BH-1146'.

Os resultados indicaram que a concentração de 10mg/litro de Fe^{2+} na solução tratamento foi adequada para a separação visual das plantas tolerantes e sensíveis baseada no comprimento da raiz após dez dias de crescimento nessa solução, visando a um programa de melhoramento genético para a tolerância à toxicidade de ferro.

4. CONCLUSÕES

1. Observou-se dominância parcial para tolerância à toxicidade causada pela presença de 10mg/litro de ferro na solução nutritiva, pelo crescimento da raiz envolvendo cruzamento entre o cultivar tolerante Siete Cerros e o sensível BH-1146.

2. Os altos valores da herdabilidade em sentido amplo para a tolerância à toxicidade de ferro, expressa na capacidade de crescimento das raízes das plântulas de trigo em soluções nutritivas contendo 5 e 10mg/litro de ferro, indicam que grande parte da variabilidade encontrada na população BH-1146 x Siete Cerros, em geração F_2 , foi de origem genética, permitindo, pois, seleções nas primeiras gerações segregantes para essa característica.

SUMMARY

GENETIC STUDIES OF TOLERANCE TO IRON TOXICITY IN WHEAT

The cultivar Siete Cerros with tolerance to iron toxicity and the cultivar BH-1146 showing sensitivity to iron, were crossed. Parents and seeds F_2 of this cross were cultivated in aerated nutrient solutions containing 0.56, 5 and 10mg/l of iron, under constant temperature ($27 \pm 1^\circ C$) and pH 4.0. The length of the central primary root of each genotype under study after ten days being cultivated in nutrient solutions containing different iron concentration was used to evaluate the levels of tolerance to this element. It was observed partial dominance for iron tolerance considering the studied F_2 population. Broad sense heritability estimates were high for iron tolerance expressed by root growth capacity in nutrient solutions with 5 and 10mg/l of iron. These results suggested that great part of the total variation found in the studied F_2 population for this characteristic was of genetic origin. So, selection for iron tolerance would be effective in early segregating generations from the cross involving a tolerant and a sensitive cultivar.

Index terms: wheat tolerance to iron toxicity, Siete Cerros, tolerant cultivar and BH-1146, sensitive cultivar; nutrient solutions.

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 à toxicidade do alumínio. *Bragantia*, Campinas, **40**:33-45, 1981.
- _____ Melhoramento do trigo. III. Evidência de controle genético na tolerância ao manganês tóxico em trigo. *Bragantia*, Campinas, **42**:91-103, 1983.
- _____ & FREITAS, J. G. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de ferro em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **44**(1):65-75, 1985.
- _____ & OLIVIERA, O. F. Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva e no solo. *Bragantia*, Campinas, **40**:21-31, 1981.
- _____ & _____ Tolerância de cultivares de trigo a diferentes níveis de manganês em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **42**:65-78, 1983.
- FALCONER, D. S. *Introduction to quantitative genetics*. New York, Ronald Press, 1960. 365p.
- FOY, C. D.; FLEMING, A. L. & SCHWARTZ, J. W. Opposite aluminum and manganese tolerances of two wheat varieties. *Agronomy Journal*, **65**: 123-126, 1973.