

CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS ELITE DE MILHO EM SOLOS ÁCIDO E FÉRTIL.

**Parentoni, S.N.; Bahia Filho, A.F.C.; Gama, E.E.G.; Lopes, M.A.;
Guimarães P.E.O.; Santos, M.X.¹**

RESUMEN

El área de "cerrado" en el Brasil, ocupa 205 millones de hectáreas y corresponde al 25% de la producción nacional de maíz, soya y arroz. Los suelos en esta región tienen un bajo pH, toxicidad de aluminio, baja disponibilidad de fósforo y un generalizado bajo nivel de nutrientes para las plantas. Una combinación de prácticas de manejo de suelos, en asociación con niveles correctivos de fósforo y el uso de cultivares desarrolladas en condiciones de bajo pH, constituyen la solución usada para conseguir una producción sostenible en el "cerrado". El objetivo de este estudio fue evaluar la aptitud combinatoria de 8 líneas elite de maíz en suelos ácidos y fértiles. Las líneas difieren en su nivel de tolerancia al aluminio y en su eficiencia al uso del fósforo. Fue posible encontrar líneas que producen híbridos más adaptados a los suelos ácidos, líneas que producen híbridos más adaptados a suelos fértiles y líneas que producen híbridos adaptados a ambos ambientes. Los resultados sugieren que en estrés hídrico durante el desarrollo de las plantas, la eficiencia para el uso del fósforo, podría ser más la ventaja adaptativa más importante para la producción en suelos ácidos, en relación a la tolerancia al aluminio.

Palabras claves: Aptitud combinatoria, suelo ácido, uso del fósforo, híbridos, maíz.

1.- Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS/EMBRAPA.
C.P. 151 - SETE LAGOAS - MG - 35701 - 970, Fax 0317739252. Brasil

INTRODUÇÃO

Ocupando uma área de 205 milhões de ha, a região dos cerrados tem se constituído na fronteira agrícola brasileira nos anos 80, respondendo hoje por 25% da produção brasileira de milho, soja e arroz. Os solos desta região apresentam baixa capacidade de retenção de água, alta saturação de alumínio, baixo pH, baixa CTC efetiva, baixa disponibilidade de fósforo e zinco e limitado suprimento de nitrogênio.

Toxidez de alumínio, aliada à baixa disponibilidade de fósforo tem sido considerados os principais fatores limitantes a utilização agrícola de solos ácidos. (Foy, 1978). A aplicação de calcário corrige apenas a acidez superficial (0-20 cm) quase não alterando o solo abaixo de 40 cm. Isto faz com que o sistema radicular de genótipos suscetíveis fique confinado a camada superficial, explorando um menor volume de solo e sendo mais sensível a períodos intermitentes de estiagem (Olmos Y Camargo, 1976).

Variabilidade genética em milho para tolerância a toxidez de alumínio tem sido amplamente reportada na literatura (Bahia Filho *et al.*, 1978; Rhue *et al.*, 1978; Magnavaca *et al.*, 1987b; Pandey and Gardner, 1992). Programas de melhoramento genético de milho para adaptação a solos ácidos tem sido desenvolvido em várias partes do mundo tais como: Brasil, CIMMYT, Colômbia, Indonésia e Peru (Granados *et al.*, 1993).

O programa de melhoramento de milho do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo/EMBRAPA vem conduzindo trabalhos na área de adaptação de milho a solos ácidos nos últimos vinte anos. A metodologia de seleção utilizada consiste em três tipos básicos de avaliação: a) uso de solução nutritiva contendo 222 $\mu\text{mol/l}$ de alumínio (Magnavaca, 1982); b) avaliação de genótipos em solo ácido (saturação de alumínio variando de 36% a 45% e nível de fósforo em torno de 5 ppm) e c) avaliação de genótipos em solo sem limitação de fertilidade. Esta metodologia tem permitido identificar genótipos que associam média a alta tolerância a alumínio com alta produtividade em solos ácidos e férteis (Magnavaca *et al.*, 1993). Dentro deste programa, trabalhos iniciais compararam a tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva de cinco populações de milho (Lopes *et al.*, 1987) com seu comportamento em solos ácido e fértil (Gama *et al.*, 1986). Verificou-se aí que a variedade CMS 36 mostrou alta to-

lerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva, foi a mais produtiva em solo ácido mas apresentou a mais baixa produção em solo fértil. Este tipo de resposta foi considerado típico de genótipos altamente adaptados a stress mas que não respondem a melhoria do ambiente. Posteriormente, estudo utilizando híbridos duplos avaliados em solução nutritiva, e em solos ácidos e férteis (Magnavaca *et al.*, 1988) permitiu identificar tres tipos de resposta entre diferentes genótipos: a) o mesmo tipo de resposta da variedade CMS 36 (altamente tolerante, mas não responde a melhoria do ambiente); b) genótipos altamente suscetíveis a toxidez de alumínio em solução nutritiva e adaptados somente a solos férteis (valor de b maior que 1); e c) genótipos com média tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e associando alta produtividade em solos ácidos e férteis. Uma das hipóteses utilizadas para explicar estes resultados é que genótipos que aliem tolerância a toxidez de alumínio com eficiência no uso de fósforo seriam capazes de aliar alta produtividade tanto em solos ácidos quanto em solos férteis. Estudos preliminares permitiram identificar ampla variabilidade para eficiência na absorção de fósforo entre híbridos de milho do programa de melhoramento do CNPMS/EMBRAPA.

O presente trabalho visou avaliar em diferentes ambientes (solo ácido e fértil), o comportamento em cruzamento de 8 linhagens elite do programa de melhoramento de milho do CNPMS/EMBRAPA as quais diferem quanto ao seu nível de tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e quanto a sua eficiência na utilização de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

No verão 94/95 os 28 híbridos simples provenientes de um dialelo completo entre 8 linhagens do programa de melhoramento de milho do CNPMS foram avaliados em dois ambientes: um Latossolo Vermelho Escuro sob cerrado com 36% de saturação de alumínio e um Latossolo Vermelho Escuro corrigido (zero de saturação de alumínio e 10 ppm de fósforo). O parâmetro avaliado foi peso de espigas (kg/ha) corrigido para 14,5% de umidade. O delineamento utilizado foi blocos ao acaso com 3 repetições por ambiente. A tolerância a toxidez de alumínio das 8 linhagens per se foi avaliada em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio (Magnavaca, 1982). O

parâmetro utilizado foi crescimento relativo da raiz seminal (CRRS), medido como: $((\text{crescimento final}/\text{crescimento inicial}) - 1 \times 100)$. Foram utilizadas tres repetições por tratamento e a parcela foi constituída por 21 plantas de cada linhagem.

Em um outro experimento conduzido no verão 93/94 um grupo de 100 híbridos simples do programa de melhoramento do CNPMS foi avaliado num LE corrigido (saturação de alumínio igual a 0) dividido em duas glebas com níveis distintos de fósforo no solo: 5 ppm (50% do nível crítico) e 10 ppm. Dentro deste grupo de 100 híbridos simples, as linhagens de número 3, 5, 7 e 8 utilizadas no dialelo avaliado em 94/95 participaram como progenitores respectivamente em 11, 8, 5 e 7 híbridos simples. Com base na produção de espigas (kg/ha) em cada um dos dois níveis de fósforo, os 100 híbridos simples foram classificados em quatro grupos de acordo com sua eficiência (em relação a média de todos os cruzamentos no nível baixo de P) e responsividade a P (em relação a média de todos os cruzamentos no nível alto de P). Para cada uma das 4 linhagens (3, 5, 7 e 8), sua eficiência na utilização de fósforo foi estimada observando-se a frequência com que os híbridos em que as mesmas participavam apareceram em cada um dos quadrantes (Figuras 1 e 2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média e o cv para peso de espigas dos 28 híbridos simples avaliados no verão 94/95 em solo ácido foi de 4751 kg/ha e $cv=17,6\%$ e para o solo fértil estes valores foram de 5990 kg/ha e $cv=16,4\%$. A análise conjunta para peso de espigas (kg/ha) mostrou significância para ambientes, cruzamentos, CGC, CEC, ambientes x cruzamentos, e as interações CGC x ambiente e CEC x ambiente (Tabela 1). O quadrado médio para CGC foi 3.4 vezes superior ao de CEC, indicando a importância dos efeitos aditivos.

Na Tabela 2 encontram-se os dados de CGC para peso de espigas de cada uma das 8 linhagens nos dois ambientes e o resultado da avaliação "per se" do CRRS de cada linhagem em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio. Na Tabela 3 encontram-se os dados de CEC para cada um dos dois ambientes. Baseado no CRRS (Tabela 2), as linhagens foram divididas em tres grupos de acordo com sua tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva: a) altamente tolerantes

(linhagens de número 4 e 7); b) medianamente tolerantes (linhagens de número 2, 5, 6 e 8) e c) suscetíveis (linhagens 1 e 3).

Analisando-se a capacidade geral de combinação para produção de espigas de cada uma das linhagens em solo ácido e fértil, (Tabela 2), pode-se fazer as seguintes inferências: a linhagem 1 apresentou baixa CGC em solo ácido e o mais alto valor de CGC em solo fértil, indicando que a mesma produziria híbridos melhores para as condições de solos férteis. Este fato está de acordo com o baixo nível de tolerância a toxidez de alumínio apresentado pela linhagem 1 (menor valor de CRRS entre as 8 linhagens avaliadas em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio). As linhagens 2 e 6 mostraram média tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e capacidade combinatória para produção de espigas em solo ácido superior àquela encontrada em solo fértil, indicando que as mesmas seriam mais apropriadas para produção de híbridos a serem cultivados em solos ácidos.

Linhagens como as de número 3 e 5, mostraram alta CGC tanto em solos ácidos quanto em solos férteis, sendo que a linhagem 5 foi medianamente tolerante a toxidez de alumínio em solução nutritiva e a linhagem 3 foi muito suscetível a toxidez de alumínio. Já as linhagens 7 e 8, apesar de mostrarem tolerância média a alta a toxidez de alumínio, mostraram valores negativos de CGC nos dois ambientes. Dois pontos são importantes para explicar-se estes resultados: a) não ocorreu estresse de água em nenhum momento durante a avaliação do dialelo em solo ácido e fértil, o que diminui a vantagem comparativa de tolerância a toxidez de alumínio; b) com base na frequência em que apareceram entre os cruzamentos mais eficientes a P no ensaio de 93/94, a linhagem 3 (participou num total de 11 cruzamentos dos quais 8 foram considerados eficientes e responsivos) e a linhagem 5 (participou de 8 cruzamentos dos quais 7 foram eficientes e responsivos) podem ser consideradas bastante eficientes na utilização de P (Figura 1). Já as linhagens 7 e 8 podem ser consideradas ineficientes na utilização de fósforo, sendo que a linhagem 7 participou de 5 cruzamentos, todos eles ineficientes na utilização de P e a linhagem 8 participou de 7 cruzamentos, 4 dos quais ineficientes, conforme mostrado na Figura 2. Em solos com toxidez de alumínio apenas na subsuperfície (abaixo de 20 cm), e durante períodos onde não ocorram estresse hídrico, eficiência na utilização

de fósforo pode vir a ser vantagem adaptativa mais importante que tolerância a toxidez de alumínio.

Novos estudos estão sendo conduzidos no CNPMS/EMBRAPA para verificar a inter-relação existente entre níveis de tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e eficiência na utilização de fósforo de linhagens elite de milho, com seu tipo de resposta em cruzamentos quando avaliados em solos ácidos e férteis.

LITERATURA CITADA

BAHIA FILHO, A.F.C., G.E. FRANÇA, G.V.E. PITTA, R. MAGANAVACA, J.F.MENDES, F.T.F.G.C. BAHIA, and P. PEREIRA, 1978. Avaliação de linhagens e populações de milho em condições de elevada acidez. p.51-58. In E. Paterniani (ed.) Proc. XI annu. Brazilian Maize and Sorghum Conf., Piracicaba, Brazil. 26-30 July, 1976. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Genética, Univ. de Piracicaba, São Paulo, Brazil.

FOY, C.D., R.L. CHANEY, and M.C. WHITE. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 29:511-566.

GAMA, E.E.G., R. MAGNAVACA, A.R.MORAIS and A.C. OLIVEIRA. 1986. Performance of five maize populations and their varietal crosses in fertile and acid soils. (In Spanish). p.77-96. In Proc. XII Andean Zone Maize Breeders Conf., Quito, Ecuador. 29.sept. 3 oct. 1986.

GRANADOS, G.S, S. PANDEY, H. CEBALLOS, 1993. Response to Selection for Tolerance to Acid Soils in a Tropical Maize Population. Crop Sci. 33:936-940.

LOPES, M.A, R. MAGNAVACA, A.F.C. BAHIA FILHO, and E.E.G.GAMA. 1987. Avaliação de populações de milho e seus cruzamentos para tolerancia a toxidez de alumínio em solução nutritiva. Pesq. Agrop. Bras. 22:257-263.

MAGANVACA, R. 1982. Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.) Ph.D. diss. Univ. of

Nebraska, Lincoln)Diss.Abstr. 43-2073B).

- MAGNAVACA, R., C.O. GARDNER, and R.B. CLARK. 1987b. Inheritance of aluminum tolerance in maize. p. 201-212. In H.W.Gabelman and B.C. Loughman (ed.) Genetic aspects of plant mineral nutrition. Martinus Nijhoff Publ. Dordrecht, the Netherlands.
- MAGNAVACA,R., E.E.G.GAMA, A.F.BAHIA FILHO, and F.T.FERNANDES. 1988. Double-cross hybrid selection for aluminum tolerance. (In Portuguese). Pesq. agropec.bras. 23:971-977.
- MAGNAVACA, R. AND A.F.C. BAHIA FILHO, 1993. Success in Maize Acid Soil Tolerance. IN Proccedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress. Nebraska, Lincon. p 209-220.
- OLMOS, I. and CAMARGO, M. 1976. Incidence of aluminum toxicity in Brazilian Soils: its characterization and distribution. Ciência e Cultura, 28: 171-180.
- PANDEY, S. and C.O. GARDNER. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. Adv. Agron. 48:1-87.
- RHUE, R.D., C.O.GROGAN, E.W.STOCKMEYER and H.L.EVERETT. 1978. Genetic control of aluminum tolerance in corn. Crop Sci. 18:1063-1067.

TABELA 1. Análise conjunta do dialeto entre 8 linhagens de milho avaliados em um LE com 36% de saturação de alumínio e um LE sem problema de toxidez de alumínio. (CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, 1994).

F.V.	DF	MS	F
AMBIENTES	1	21500367	366.2 **
CRUZAMENTOS	27	1166176	19.8 **
GCA	7	2468027	42.0 **
SCA	20	710528	12.1 **
AMBIENTE X CRUZAMENTOS	54	385648	6.5 *
GCA X AMB.	7	818670	13.9 **
SCA X AMB.	20	234091	3.9 **
ERRO	108	58711	

TABELA 2. Capacidade geral de combinação (CGC) para peso de espigas (kg/ha) entre 8 linhagens de milho avaliadas em dois ambientes: um LE com 36% de saturação de alumínio e um LE sem problema de toxidez de alumínio. Valor obtido para Crescimento Relativo de Raiz Seminal (CRRS) das 8 linhagens quando avaliadas "per se" em solução nutritiva com 6 ppm de alumínio. (CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, 1995).

LINHAGEM	ORIGEM	CGC SOLO ÁCIDO	CGC SOLO FÉRTIL	CRRS*
1	CMS 14	72.4	756.9	14.26 D**
2	CMS14	358.2	- 400.2	34.93 BC
3	HIB/CNPMS	518.2	695.4	14.28 D
4	CMS12	- 372.0	- 147.7	49.42 A
5	CMS03	317.9	538.1	29.56 BC
6	BR105	261.7	- 328.2	27.82 C
7	BR105	- 833.7	- 372.7	58.94 A
8	BR105	- 322.7	- 741.7	39.11 B

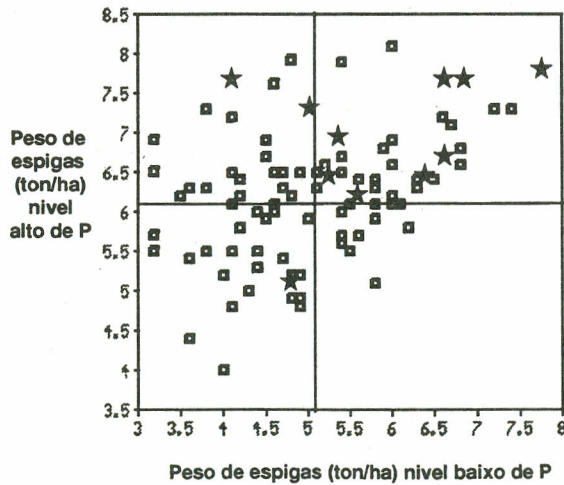
* $CRRS = ((Cresc. Final / Cresc. Inicial) - 1) \times 100$.

** Médias de CRRS seguidas pela mesma letra não diferem significativamente. LSD (5%) = 10.04

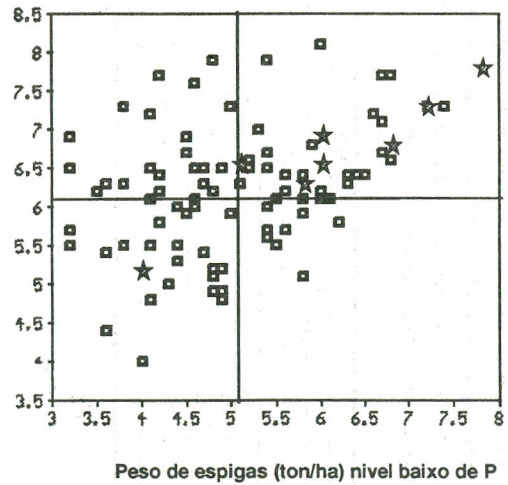
TABELA 3. Capacidade específica de combinação para peso de espigas (kg/ha) entre 8 linhagens de milho em dois ambientes: um LE com 36% de saturação de alumínio (valores acima da diagonal) e um LE sem problema de toxidez de alumínio (valores abaixo da diagonal). CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, 1995.

		LINHAGEM							
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1		41	336	-345	-441	700	-240	-49	
2	-243		424	147	631	-759	-735	250	
3	192	-424		-1403	583	483	14	-438	
4	-425	-735	-913		-623	209	994	1020	
5	-615	649	678	236		183	-167	-166	
6	201	467	-61	226	164		-33	-784	
7	927	-942	602	1140	-461	-664		-334	
8	-36	1228	-74	470	-651	-334	-602		

Figura 1 - Peso de espigas (kg/ha) de 100 híbridos simples de milho em um LE fase cerrado sob dois níveis de P (5 ppm e 10 ppm). Cruzamentos em vermelho são aqueles em que a linhagem 3 foi um dos parentais e aqueles em azul tem a linhagem 5 como um dos parentais.

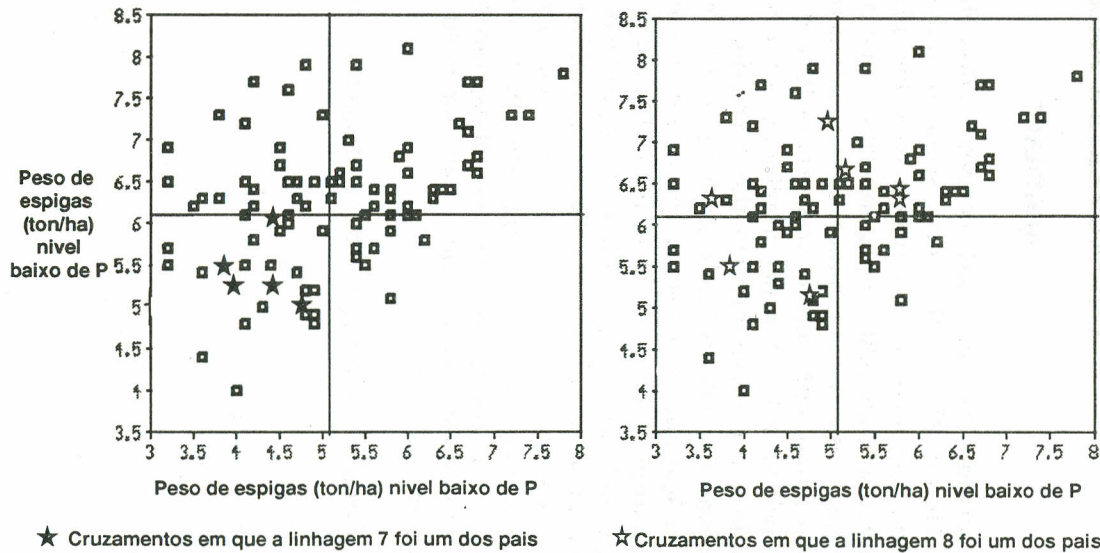


★ Cruzamentos em que a linhagem 3 foi um dos pais



★ Cruzamentos em que a linhagem 5 foi um dos pais

Figura 2 - Peso de espigas (kg/ha) de 100 híbridos simples de milho em um LE fase cerrado sob dois níveis de P (5 ppm e 10 ppm). Cruzamentos em rosa são aqueles em que a linhagem 7 foi um dos parentais e aqueles em amarelo tem a linhagem 8 como um dos parentais.



COMBINING ABILITY OF MAIZE INBRED LINES IN ACID AND FERTILE SOILS

ABSTRACT

The "cerrado area in Brazil occupies 205 million ha of land and responds for 25% of the corn, soybean and rice produced in the country. The soils in this region have low pH, toxic levels of aluminum, low availability of phosphorus, and a generalized low level of plant nutrients. A combination of soil management practices, liming in association with corrective levels of P, and use of crop cultivars developed for these low pH conditions is the solution used for sustainable maize production in the "Cerrado". The objective of this study was to evaluate the combining ability of 8 elite maize inbred lines in acid and fertile soils. These inbred lines differs in their level of aluminum tolerance and in their efficiency to phosphorus use. It was possible to find inbred lines that produces hybrids more adapted to acid soils, inbred lines that produced hybrids more adapted to fertile soils and inbred lines that produces hybrids adapted to both environments. The results suggested that in the absence of water stress during the growing season, phosphorus efficiency could be a more important adaptive advantage for yield under acid soil than aluminum tolerance.

Key Words: Combining ability, acid soils, hybrids, maize.