

EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM GENÓTIPOS DE MILHO.

SIDNEY N. PARENTONI¹, CARLOS ALBERTO VASCONCELOS¹, VERA M. C. ALVES¹, CLESO, A. P. PACHECO¹, MANOEL X. SANTOS¹, ELTO E.G.GAMA¹, WALTER F. MEIRELLES¹, LUIZ A. CORREA¹, GILSON V.E.PITTA¹, ANTONIO F.C.BAHIA FILHO¹.

¹Pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo. Caixa postal 151. CEP 35701-970 – Sete Lagoas, MG. e-mail: sidney@cnpms.embrapa.br

INTRODUÇÃO

O conceito de eficiência de plantas na utilização de um nutriente engloba processos pelos quais as plantas absorvem, translocam, acumulam e utilizam melhor o referido nutriente para a produção de matéria seca e grãos em condições nutricionais normais ou com limitado suprimento do nutriente em questão. O melhoramento de plantas visando maior eficiência nutricional tem se baseado em três critérios básicos: a) busca de genótipos superiores em ambiente com limitado suprimento do nutriente; b) busca de genótipos superiores em ambiente com suprimento elevado do nutriente; c) busca de genótipos capazes de maximizar a conversão do nutriente absorvido em grãos. Diferenças genotípicas na absorção de nutrientes e na conversão dos mesmos em grãos tem sido demonstradas (Hiroce et al. 1989). Variação genotípica para eficiência a fósforo em feijão e milho são citadas por Younghdahl, 1990 e Alves et. al., 1988.

A Embrapa-Milho e Sorgo vem trabalhando a cerca de quinze anos na área de estudo da eficiência na utilização de P em genótipos de milho (Alves et. al., 1988; Parentoni et. al., 1999). O presente trabalho teve os seguintes objetivos: a) avaliar a eficiência de utilização de fósforo em 90 genótipos de milho cultivados em um LE sob 2 níveis de P (2 ppm e 15 ppm); b) obter estimativas da importância relativa de efeitos aditivos e não aditivos para peso de espigas, kg de P absorvido (nos grãos e total) e eficiência de conversão do P absorvido em grãos a partir de um dialelo entre 13 linhagens; c) identificar genótipos contrastantes para posterior utilização em estudos de identificação de mecanismos ligados a eficiência na utilização de fósforo em milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Uma área de Latossolo Vermelho Escuro-fase cerrado foi dividida em duas partes, corrigida para pH 5 e mediante análise do nível crítico de P no solo, o nível de P em uma das áreas foi mantido em 2 ppm e na outra este valor foi elevado para 15 ppm de P.

No verão 98/99, um grupo de 90 genótipos foi plantado simultaneamente nas duas áreas. Cada um dos dois ensaios foi constituído por 3 repetições e o delineamento experimental utilizado foi um látice 9x10. Dentre estes 90 tratamentos estavam os 78 cruzamentos obtidos de um dialelo entre 13 linhagens do programa de melhoramento para solos ácidos da EMBRAPA-Milho e Sorgo e 12 outros genótipos de diversas origens. A identificação das 13 linhagens utilizadas no dialelo, a população de origem das mesmas e sua classificação quanto à tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva encontram-se na Tabela 1. Por ocasião da colheita foi obtido o peso de espigas (kg/ha) por parcela e foram retiradas 5 plantas por parcela para análise de seu conteúdo de fósforo (Sarruge e Haag, 1974). Essas 5 plantas de cada material foram divididas em parte aérea (folhas, colmos, pendão e palhas da

espiga), em grãos e sabugo. Foi obtida a massa seca a 75 graus e também o teor de P na massa seca da parte aérea, do sabugo e dos grãos. Foi então calculada a quantidade de P extraído em g/planta para as frações acima, obtendo-se então, pelo somatório do P nas 3 frações (parte aérea, sabugo e grãos), o P total extraído (g/planta), para cada um dos 90 tratamentos e em cada um dos dois níveis de P. A eficiência do genótipo em converter P em grãos foi obtida pela relação quantidade de kg de grãos produzidos por kg de P absorvido. Foi feita análise conjunta entre os dois ambientes (2 e 15 ppm P de P no solo) para as variáveis peso de espigas (kg/ha), quantidade de P na parte aérea (g/pl), quantidade de P no sabugo (g/pl), quantidade de P no grão (g/pl), quantidade de P total (g/planta) e eficiência na conversão de P em grãos (kg grãos produzidos/kg de P total), utilizando-se o programa MSTAT. A análise dialélica para os 78 F1's obtidos do cruzamento entre as 13 linhagens foi feita para as variáveis peso de espigas (kg/ha), quantidade de P no grão (g/pl), quantidade de P total (g/planta) e eficiência na conversão de P em grãos (kg grãos/kg de P). Foi utilizado o programa GENES.

Tabela 1 – Origem, capacidade geral de combinação (CGC) para peso de espigas (kg/ha) na presença e ausência de estresse de fósforo e classificação quanto à tolerância a toxidez de alumínio, para 13 linhagens de milho avaliadas em um dialeto conduzido em um Le fase cerrado sob dois níveis de P: 2 ppm e 15 ppm, no verão 98/99. Embrapa-Milho e Sorgo, 2000.

Linhagem	Origem	CGC – 2 ppm P	CGC – 15 ppm P	Classificação para tolerância a toxidez de alumínio.
L 26	BR 106	56	437	Média
L 2841	CMS 28	- 108	67	Média
L 2891	CMS 28	- 1054	- 117	-
L 161-1	Sint. 06	857	1510	Moderadamente Tolerante
L 1096	Tuxp. xHibr.	- 265	- 1047	-
L 228-3	Sint. 06	- 163	1164	Moderadamente Tolerante
L 36	Rec. CNPMS	463	- 531	Muito Sensível
L 723726-45	CMS 03x05	139	- 420	Sensível
L 1154	BR 105	195	- 526	Muito Tolerante
L 5046	CMS 50	- 432	- 756	Sensível
L 1113-01	Sint. CMS14	- 343	- 40	Sensível
L3	Sint. CMS14	1132	1121	Muito Tolerante
L 1057-68	Sint. CMS14	- 479	- 860	Moderadamente Tolerante

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

As médias para peso de espigas (kg/ha) nos níveis de 2 e 15 ppm de P foram respectivamente de 6721 kg/ha e 10026 kg/ha, com uma redução média entre níveis de 32,9%. Para P no grão estes valores foram de 95,4 mg/pl e 193,6 mg/pl, com uma redução média entre níveis de P no solo de 50,7%. Para P total estes valores foram de 123,2 mg/pl e 252,5 mg/pl, com uma redução média entre níveis de 51,2%. Para kg de grãos produzidos por kg de P total absorvido, estes valores foram de 775, 4 e 615,8 kg grãos/kg de P com uma conversão de grãos em média, 20,5% superior no nível mais baixo de P.

A análise dialélica conjunta para os 2 ambientes (2 e 15 ppm de P), para a variável peso de

espigas (Tabela 2) mostrou significância para genótipos, capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC), níveis de P e interação CGC x níveis P. Para as variáveis P no grão e P total, foram significativos os efeitos de genótipos, CEC, níveis de P e CEC x níveis de P. Para a variável kg grãos/kg de P absorvido foram significativas todas as variáveis analisadas (genótipos, CGC, CEC, níveis de P, Genótipos x Níveis P, CGC x Níveis P, CEC x Níveis P). As estimativas dos efeitos aditivos (Φ_g) e dos efeitos de dominância (Φ_s), a relação entre estes efeitos (Φ_g / Φ_s) e o coeficiente de determinação para os 78 F1's correspondentes ao dialelo (que pode ser interpretado como um valor de herdabilidade no sentido amplo), em cada um dos 2 níveis de P no solo, para as quatro variáveis acima, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise conjunta do dialelo de 13 linhagens para os seguintes fatores: genótipos, capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC), níveis de P no solo (2 e 15 ppm), e as interações. Variáveis analisadas foram: peso de espigas (PE), P extraído pelos grãos (PG), P total extraído (PT) e eficiência na conversão de P em grãos. São mostradas abaixo, estimativas dos efeitos aditivos (Φ_g), dos efeitos de dominância (Φ_s), da relação entre estes efeitos (Φ_g / Φ_s) e do coeficiente de determinação R² para os 78 F1's, em cada um dos 2 níveis de P. Embrapa-Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2000.

	PE (kg/ha)		PG (mg/pl)		PT (mg/pl)		Eficiência (kg grãos/kg fósforo)	
	2 ppm P	15 ppm P	2 ppm P	15 ppm P	2 ppm P	15 ppm P	2 ppm P	15 ppm P
Genótipos	**		**		**		**	
CGC	**		n.s		n.s		**	
CEC	*		*		**		**	
Níveis P	**		**		**		**	
Gen. X Níveis P	n.s		n.s		n.s		**	
CGC x Níveis P	**		n.s		n.s		**	
CEC x Níveis P	n.s		*		*		**	
	2 ppm P	15 ppm P	2 ppm P	15 ppm P	2 ppm P	15 ppm P	2 ppm P	15 ppm P
Φ_g	746881	1841543	29	102	75	82	8223	715
Φ_s	442413	2357922	508	2259	343	3365	95984	12990
Φ_g / Φ_s	1,69	0,78	0,057	0,045	0,218	0,024	0,085	0,055
R ² (H)	36,2 %	67,8%	23,7%	30,7%	15,94%	34,7%	69,2%	27,8%

As relações entre Φ_g e Φ_s para peso de espigas (kg/ha) nos níveis de 2 e 15 ppm foram de 1,69 e 0,78, indicando a importância dos efeitos tanto aditivos quanto não aditivos para peso de espigas (Tabela 2). Para as variáveis P no grão, P total e para a variável kg de grão produzido/ kg de P absorvido, a relação Φ_g e Φ_s para os níveis de 2 e 15 ppm de P no solo foi respectivamente de 0,057 e 0,045 para P no grão, 0,218 e 0,024 para P total e 0,085 e 0,055 para kg de grãos produzidos/kg de P absorvido. Estes dados indicam que para estas 3 últimas variáveis, os efeitos não aditivos foram muito superiores aos efeitos aditivos na herança das características estudadas. Os valores do coeficiente de determinação (que pode

ser entendido como uma herdabilidade no sentido amplo), para peso de espigas em kg/ha nos níveis 2 e 15 ppm de P foram de 36,2% e 67,8% respectivamente (Tabela 2). Para conteúdo de P no grão estes valores foram de 23,7% e 30,7%. Para fósforo total na planta, estes valores foram de 15,94% e 34,74%. Para a variável kg de grãos produzidos por kg de P absorvido, foi verificado um alto valor de R² no nível baixo de P (69,17%) e um baixo valor no nível 15 ppm de P (27,82%). A relação entre g de grãos produzidos por mg de P absorvido para os 90 genótipos nos níveis de 2 e 15 ppm de P no solo pode ser vistas na Figura 1.

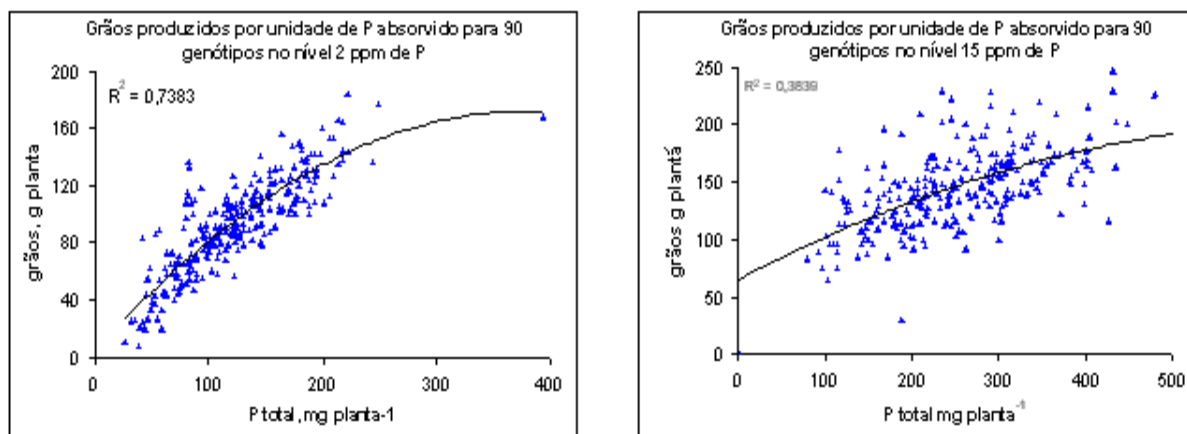


Figura 1 – Gráficos com a produção de grãos em g/planta (eixo y) e a quantidade de P total absorvida em mg/planta (eixo x), para 90 genótipos de milho avaliados em um Le sob 2 níveis de P (2 ppm e 15 ppm). Embrapa-Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG., 2000.

Pode-se inferir que no nível de 2 ppm de P, a produção de grãos foi diretamente proporcional ao P absorvido ($R^2 = 0,73$), indicando que este nutriente foi o fator limitante para produção de grãos neste ambiente. Já no nível alto de P (15 ppm), ou ocorreu um "consumo de luxo" de P, ou algum outro fator (limitação de algum outro nutriente ou limitação por algum estresse biótico) limitou o potencial produtivo dos genótipos, de forma que não se observou um efeito direto entre P absorvido e quantidade de grãos produzidos.

Com base na média de produção (kg espigas/ha) em cada um dos dois níveis de P, os genótipos podem ser classificados em ineficientes e não responsivos (genótipos que produziram abaixo da média nos dois níveis), eficientes e não responsivos (genótipos que produziram acima da média no nível de 2 ppm de P e abaixo da média no nível 15 ppm de P), genótipos ineficientes e responsivos (abaixo da média no nível 2 ppm e acima da média no nível 15 ppm) e genótipos eficientes e responsivos (acima da média nos 2 ambientes), conforme mostrado na Figura 2.

As observações acima sugerem que um possível índice de seleção para eficiência na utilização de P deveria levar em conta a capacidade produtiva dos genótipos com e sem limitação de P (vide Figura 2) e a capacidade do genótipo em converter o P absorvido em grãos no nível baixo de P no solo (2 ppm). Com base na Figura 2, e nos dados de eficiência/ineficiência na conversão do P absorvido em grãos no nível de 2 ppm de P no solo, foram selecionados 9 tratamentos como padrão de eficiência na utilização de fósforo e 7 tratamentos como padrão de ineficiência na utilização de fósforo (Tabela 3). Pode-se observar aí que, dentre os 9 genótipos selecionados como padrão de eficiência, baseado na produção de grãos nos níveis

de 2 e 15 ppm de P no solo, a eficiência de conversão de P em grãos no nível baixo de P, variou de 664 kg de grãos/kg de P a 841 kg de grãos/kg de P. Nos 7 genótipos selecionados como padrão de ineficiência a fósforo, a eficiência de conversão de P em grãos variou de 517 a 755 kg de grãos/kg de P.

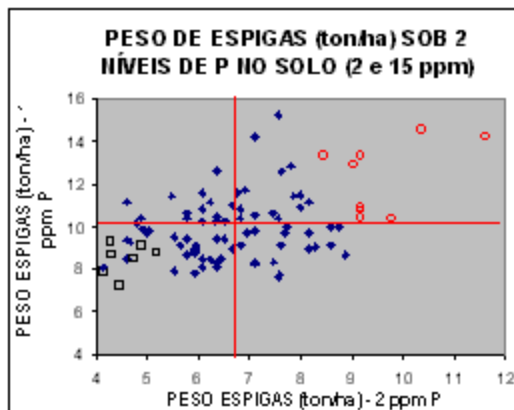


Figura 2 – Peso de espigas para 90 genótipos de milho em um Le sob 2 níveis de P (2 ppm e 15 ppm). Genótipos assinalados com um círculo foram selecionados como padrões de eficiência na utilização de fósforo. Genótipos assinalados com um quadrado foram selecionados como padrões para ineficiência na utilização de fósforo. Embrapa-Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG., 2000.

Tabela 3 – Genótipos contrastantes (eficientes e não eficientes) na utilização de fósforo, selecionados dentre 90 genótipos de milho avaliados em um Le fase cerrado sob dois níveis de P: 2 ppm e 15 ppm, no verão 98/99. Embrapa-Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2000.

Genótipos	Classificação quanto à eficiência a P	PE 2 ppm P (kg/ha)	PE 15 ppm P (kg/ha)	Kg de grãos produzidos/kg P absorvido – 2 ppm P
HS 26x161-1	Eficiente	10360	14520	774
HS-Tes1	Eficiente	11617	14226	681
HS 228-3x36	Eficiente	9768	10373	664
HS 228-3xL3	Eficiente	9176	13346	785
HS 36xL3	Eficiente	9170	10913	738
HS 228-3x1154	Eficiente	9176	10751	803
HS 26xL3	Eficiente	9028	12906	841
HS 2841xL3	Eficiente	9176	10413	665
HS 1113-01xL3	Eficiente	8436	13346	816
HS 2841x36	Ineficiente	4144	7920	585
HS 26 X 1113-01	Ineficiente	4276	9240	517
HS 2841X5046	Ineficiente	4292	8653	695
HS XHT-66D	Ineficiente	4463	7186	592
HS 1096X5046	Ineficiente	4884	9123	755
HS 2891X1057-68	Ineficiente	4736	8506	691
HS 5046X1113-01	Ineficiente	5180	8800	721
Média 90 genótipos		6721	10026	775

CONCLUSÕES

- Houve diferença entre genótipos e entre ambientes (níveis de P no solo) para peso de espigas (kg/ha), P no grão, P total e para a variável kg de grãos produzidos/ kg de P absorvido. O estresse de P causou uma redução média nestas variáveis de 3305 kg espigas/ha (32,9%), 50,7% para P no grão e 51,2% para P total.
- A eficiência de conversão de P em grãos (kg de grãos produzidos/kg de P absorvido) foi 20,5% superior no nível mais baixo de P no solo (2 ppm P).
- Os efeitos aditivos e não aditivos foram importantes para a variável peso de espigas. Para as variáveis P no grão, P total e para a variável kg de grãos produzidos/ kg de P absorvido os efeitos não aditivos foram mais importantes no controle destas características.
- Foi observada uma relação direta entre P total absorvido no nível 2 ppm de P no solo e kg de grãos produzidos ($R^2 = 0,73$). No nível mais alto de P no solo (15 ppm), não houve relação direta entre estas duas variáveis, indicando a ocorrência de consumo de luxo de P ou existência de outros fatores bióticos ou abióticos limitando o teto de produção no nível alto de P no solo.
- A seleção de genótipos contrastantes quanto a sua eficiência no uso de P poderia ser feita com base em dois critérios: a) produção nos níveis baixo e alto de P (critério principal) e eficiência na conversão de P em grãos, sob estresse de P (kg de grãos

produzidos por kg de P absorvido).

LITERATURA CITADA:

ALVES, V.M.C.; VASCONCELOS, C.A.; PITTA, G.V.E.; MAGNAVACA, R. 1988. Seleção de genótipos de milho para eficiência a fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23 ,p.1083-1090, 1988.

HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C.; LIMA, M. **Extação de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1989. 24p. (IAC.Boletim Científico).

YOUNGHDAHL, L.J. Differences in phosphorus efficiency in bean genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.13, p.1381-1392, 1990

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa-MG: UFV, 1999. 399p.

PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; SANTOS, M.X.; LOPES, M.A.; ALVES, V.M.A.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; MAGNAVACA, R.; PACHECO, C.A.P.; MEIRELLES, W.F.; GUIMARAES, P.E.O.; SILVA, A.E.; NASPOLIN FILHO, W.; MORO, J.R.; VIANA, R.T.; PITTA, G.V.E., FRANCA, G.E.; PURCINO, A.A.C.; SOUZA, I.R.P.; MARRIEL, I.E., MACHADO, A.T.; CORREA, A.C.; OLIVEIRA, A.C.; PAIVA, E. Adaptação de milho a solos ácidos: tolerância a toxidez de alumínio e eficiência no uso de nutrientes no Programa de Pesquisa da EMBRAPA-Milho e Sorgo. In: REUNION LATINOAMERICANA DEL MAIZ, 18., 1999, Sete Lagoas, MG. **Memoria...** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS/México: CIMMYT, 1999. p.179-202.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.