

## Seleção Simultânea para Eficiência de Uso e Resposta ao Fósforo em Híbridos de Milho

Flávia Ferreira Mendes<sup>1</sup>, Sidney Netto Parentoni<sup>2</sup>, Lauro José Moreira Guimarães<sup>2</sup>, Paulo Evaristo Oliveira Guimarães<sup>2</sup>, Pedro Henrique Ferreira Gomes<sup>3</sup>, Kênia Grazielle de Oliveira<sup>3</sup>, Denize Pacheco Reis<sup>3</sup> e Rafaela Barbosa Tavares<sup>3</sup>

### Resumo

Para identificação de genótipos de milho eficientes e responsivos ao fósforo (P), o próprio desempenho produtivo nos ambientes de baixa e alta disponibilidade desse nutriente pode ser utilizado como índices de eficiência e resposta, respectivamente. A utilização de um único índice que reúne esses dois atributos simultaneamente facilita o trabalho do melhorista na seleção de genótipos superiores. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi propor a utilização do método da média harmônica da performance relativa de valores genotípicos (MHPRVG) para identificação de híbridos de milho eficientes e responsivos ao P. Foram avaliados 143 híbridos simples em três experimentos conduzidos em dois ambientes (alta e baixa disponibilidade de P, durante a safra de 2009/2010, em Sete Lagoas - MG. Em todos os experimentos foram utilizadas quatro testemunhas comerciais. Foi avaliada a característica produtividade de grãos, expressa em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  corrigida para 13% de umidade. As análises estatísticas foram realizadas via modelos mistos, e os valores genotípicos de cada híbrido foram preditos para os ambientes separadamente. Posteriormente, foram estimadas os valores de MHPRVG para cada híbrido, sendo este valor utilizado como índice de seleção considerando eficiência e resposta simultaneamente. Verificou-se, a existência de variabilidade genética entre os híbridos avaliados nos ambientes de alto e baixo P. A precisão experimental foi maior nos ambientes sem estresse. Aplicando uma intensidade de seleção de 10% sob os valores de MHPRVG, 14 híbridos foram selecionados, dos quais, dez apresentaram desempenho superior à média nos dois ambientes simultaneamente. O método de MHPRVG se mostra adequado para seleção de genótipos de milho pelos atributos de eficiência e resposta ao P, simultaneamente.

### Introdução

O milho é cultivado em todo território brasileiro, incluindo áreas geográficas que apresentam limitações ao cultivo devido a elevadas concentrações de Al tóxico e baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente o fósforo, como observado para as regiões de cerrado. O suprimento de P nos solos brasileiros tem sido feito através da adubação. Devido à alta capacidade de adsorção de fósforo nos solos do cerrado, altas doses são necessárias para obtenção de elevadas produtividades. Entretanto, estimativas recentes indicam que as reservas de P exploradas a preços acessíveis poderão ser esgotadas ainda nesse século (Oelkers and Valsami 2008). Portanto, pesquisas que visam desenvolver plantas eficientes no uso de P poderão exercer um papel fundamental para a agricultura nos próximos anos.

A avaliação de genótipos em ambientes com baixa disponibilidade de P tem sido utilizada para estimar índices de eficiência de cultivares. Contudo, na seleção de genótipos superiores, além da eficiência, outro conceito igualmente importante, é a capacidade do genótipo em responder a aplicação do nutriente. Vários índices de eficiência e resposta ao P são descritas da literatura (Parentoni et al., 2008) e não existe um consenso de qual é o mais adequado. Guimarães (2006) cita que o próprio desempenho produtivo nos ambiente de baixa e alta disponibilidade de nutriente pode ser considerado como índice de eficiência e resposta ao nutriente.

Uma forma de agrupar genótipos de acordo com sua eficiência e responsividade a um dado nutriente foi apresentada por Fageria e Baligar (1993). Esses autores utilizaram gráficos de dispersão, em que, no eixo das abscissas tem-se a eficiência, e no eixo das ordenadas tem-se a resposta. A visualização gráfica permite identificar grupo de genótipos com desempenho superior à média tanto no alto quanto no baixo P. Entretanto, somente a visualização gráfica não permite selecionar os melhores genótipos dentro de cada grupo. Nesse sentido, a utilização de um índice que reúne a eficiência e resposta em uma única estatística seria vantajosa, pois facilitaria a seleção de genótipos pelos dois atributos simultaneamente.

Rezende (2007) propôs a utilização de uma técnica para análise simultânea de estabilidade, adaptabilidade e produtividade, denominada média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos ou MHPRVG. Essa estatística pode se apresentar adequada aos propósitos de identificação de genótipos mais

---

<sup>1</sup> Doutoranda da Universidade Federal de Lavras, Departamento de Biologia, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras, MG. E-mail: flvmendes2001@yahoo.com.br, <sup>2</sup> Pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, MG 424, Km 45, CEP.: 35701-970, Sete Lagoas-MG. <sup>3</sup> Graduandos da UNIFEMM - Centro Universitário de Sete lagoas.

eficientes e responsivos, pois leva em consideração a performance relativa em cada ambiente, ou seja, permite identificar os genótipos com desempenho acima da média nos dois ambientes e ao mesmo tempo penaliza aqueles que apresentam grande desvio de comportamento considerando os ambientes de alto e baixo P. Diante do exposto o objetivo desse trabalho foi propor a utilização do método MHPRVG para seleção de híbridos de milho, simultaneamente, pelos atributos de eficiência e resposta ao fósforo.

## Material e Métodos

Foram avaliados 143 híbridos simples divididos em três experimentos, dois com 64 e um com 15 híbridos, em todos os experimentos foram avaliadas quatro testemunhas comerciais (AG7088, BRS1055, RS 1010 e P30F35). Os experimentos foram conduzidos em ambientes com alta e baixa disponibilidade de P.

O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados com duas repetições para os todos os experimentos. As parcelas foram constituídas por uma linha de 4 m de comprimento, espaçadas de 80 cm entre linhas e 20 cm entre plantas. A adubação de plantio nos ensaios de baixo P foi realizada com uma mistura de 70 Kg/ha de uréia (31,5 kg de N), 100 kg/ha cloreto de potássio (60 kg de K<sub>2</sub>O), sem adição de fonte de P. No ambiente sob alto fósforo a adubação de plantio foi de 400 kg/ha do formulado 8-28-16, fornecendo 32 kg/ha de N, 64 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 112 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A adubação de cobertura foi realizada quando o milho apresentava-se no estágio de seis folhas utilizando 200 kg/ha de uréia (90 kg/ha de N) em todos os ambientes. Os demais tratamentos culturais foram realizados de acordo com recomendado para a cultura na região. Os experimentos receberam irrigação suplementar sempre que necessário. Foi avaliado em cada parcela a característica produtividade de grãos (PG), expresso em kg/ha e corrigido para 13% de umidade.

As análises estatísticas foram realizadas considerando o modelo:  $y = Xt + Zg + Wb + e$ , em que,  $y$  é o vetor de observações da característica avaliada;  $t$  é o vetor dos efeitos de experimento somados à média geral (fixos);  $g$  é o vetor dos efeitos genotípicos (aleatórios);  $b$  é o vetor dos efeitos de blocos (aleatório);  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatório).  $X$ ,  $Z$  e  $W$  representam as matrizes de incidência para os efeitos de  $t$ ,  $g$  e  $b$ , respectivamente. As análises foram realizadas com auxílio do software Selegen (Rezende, 2007).

De posse dos valores genotípicos preditos, foram estimadas as porcentagens relativas de valores genotípicos (PRVG) para cada híbrido nos ambientes de alto e baixo P, pela expressão:  $PRVG_{ij} = VG_{ij} / VG_{.j}$  em que,  $VG_{ij}$  é o valor genotípico do híbrido  $i$  no ambiente  $j$  e  $VG_{.j}$  corresponde a média genotípica do ambiente  $j$ . Posteriormente foram estimadas as médias harmônicas da performance relativa dos valores genotípicos para cada híbrido pela expressão:  $MHPRVG_i = n / \sum_{j=1}^k \frac{1}{PRVG_{ij}}$ , em que  $n$  corresponde ao número de ambientes.

Esse índice foi utilizado para classificar os híbridos quanto à eficiência e resposta ao P.

Para facilitar a identificação de grupos de genótipos eficientes e responsivos, os valores genotípicos de cada ambiente foram plotados em gráfico de dispersão, onde no eixo das abcissas foram plotados os resultados do ambiente de baixo P e no eixo das ordenadas os resultados do ambiente de alto P. Desta forma, o plano cartesiano, foi dividido em quatro quadrantes, onde o quadrante esquerdo inferior representa os híbridos ineficientes e não-responsivos, enquanto que, no quadrante direito superior podem ser identificados os híbridos mais promissores, ou seja, eficientes e responsivos.

## Resultados e Discussão

Empregando modelos mistos para análise dos dados experimentais, a significância dos efeitos de genótipos pode ser verificada pelo teste de razão de máxima verossimilhança (LRT). No presente trabalho, verificou-se que a variância genética foi significativa pelo teste de LRT, infere-se, portanto, que existe diferença estatística entre os híbridos testados quanto à produtividade de grãos nos ambientes de alto e baixo P (Tabela 1). A precisão experimental, medida pela acurácia, foi maior no ambiente sem estresse, o mesmo pode ser observado para as estimativas de herdabilidade (Tabela 1).

Para que o estresse seja efetivo, deve-se observar uma redução no potencial produtivo entre 40 e 60%, considerando o ambiente sem estresse como referência. Dados experimentais demonstram que se o ambiente com baixo nível de P promover pouca redução no potencial produtivo, a correlação entre os materiais genéticos avaliados com e sem P tende a ser relativamente alta (Parentoni et al., 2010). Observou-se, nesse trabalho, uma redução na produtividade de grãos de 48% na condição de estresse, bem como, baixa correlação genética entre os ambientes (0,42). Isso indica que um genótipo com bom desempenho em um ambiente pode não manter o mesmo comportamento em outro ambiente, ou seja, há presença de interação genótipos x ambientes como

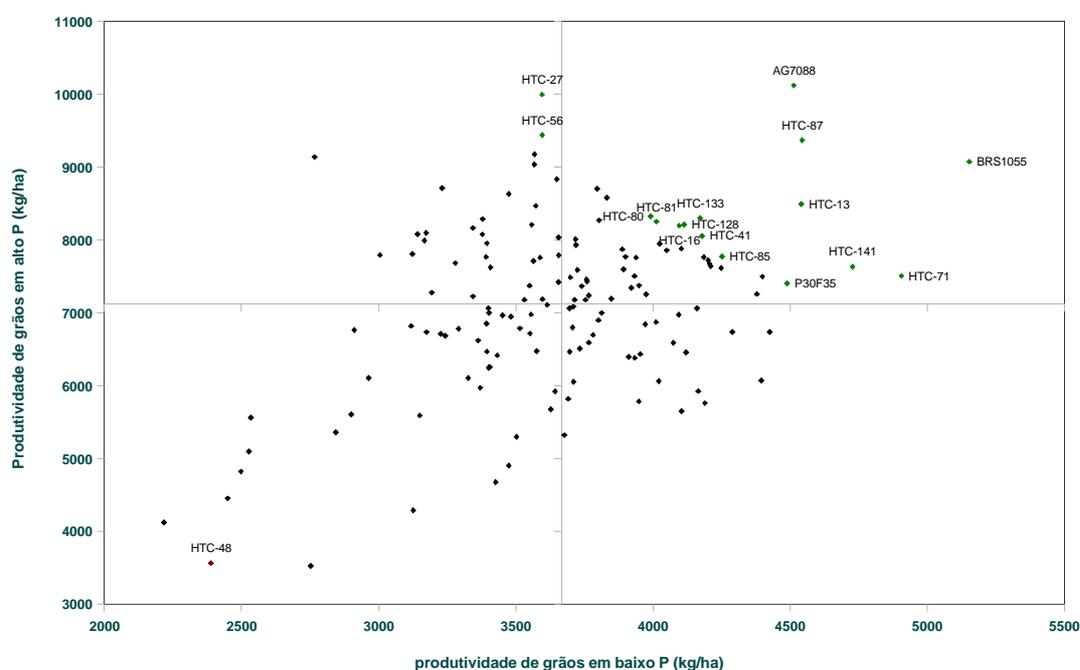
verificado na Tabela 1. A presença de interação, associada com baixa correlação genética entre ambientes indica a necessidade de avaliar os híbridos nos dois níveis de P.

**Tabela 1-** Estimativas de componentes de variância, para produtividade de grãos em milho nos ambientes de alto e baixo P. Sete Lagoas, 2009/2010

Componentes	Alto P	Baixo P
Variância genética	1879098**	453981**
Herdabilidade	0,83	0,65
Acurácia	0,91	0,80
CVe%	15,33	23,57
Média	7120	3667
V. interação	554827,59**	
Correlação entre locais	0,42	
Porcentagem de redução	48%	

\*\* significância a 1% de probabilidade para o teste da razão de verossimilhança (LRT).

Mesmo com interação genótipos x ambientes significativa, foi possível identificar híbridos com bom desempenho nos dois ambientes, ou seja, híbridos eficientes e responsivos (Figura 1). Os híbridos que se encontram no quadrante direito superior do gráfico, apresentaram média superior tanto nos ambientes de baixo quanto nos ambientes de alto P.



**Figura 1-** Dispersão dos valores genotípicos para produtividade de grãos dos híbridos em alto e baixo P

A visualização gráfica auxilia na identificação de grupos de genótipos eficientes e responsivos, contudo não há um critério de seleção dentro do grupo. Nesse, sentido, a utilização dos valores de MHPRVG como índice reúne as informações de eficiência e resposta ao P em uma só medida e auxilia o melhorista na tomada de decisão. Essa medida permite selecionar os indivíduos que apresentam desempenho superior considerando os dois ambientes pela performance relativa, e ao mesmo tempo penaliza aqueles que apresentam grande desvios de comportamento, pela média harmônica.

Na Tabela 2 estão apresentados os genótipos classificados de acordo com as estimativas de MHPRVG. Observou-se que as testemunhas BRS1055 e AG7088 foram as que apresentaram maiores estimativas de MHPRVG. Dos 13 melhores híbridos selecionados com base em MHPRVG, oito apresentaram desempenho acima da média nos dois ambientes simultaneamente (Figura 1), ou seja, se encontravam no quadrante direito superior do gráfico de dispersão. Os híbridos HTC-27 e HTC-56 também foram selecionados com base nos valores MHPRVG, contudo, no ambiente com estresse, esses híbridos apresentaram desempenho abaixo da

média geral, sendo, portanto, considerados responsivos, mas não eficientes pela dispersão gráfica. Conclui-se, nesse trabalho que o método MHPRVG se mostra adequado para seleção de genótipos de milho pelos atributos de eficiência e resposta ao P, simultaneamente.

**Tabela 2-** Valores genotípicos (VG) e performance relativa de valores genotípicos (PRVG), para os ambientes de alto e baixo P, e estimativas de MHPRVG considerando os dois ambientes simultaneamente. Classificação dos genótipos segundo MHPRVG. Sete Lagoas-MG, 2009/2010

Ordem	Genótipo	Alto P		Baixo P		MHPRVG
		VG	PRVG	VG	PRVG	
1	BRS1055	9075	1,27	5153	1,41	1,34
2	AG7088	10120	1,42	4513	1,23	1,32
3	HTC-87	9371	1,32	4544	1,24	1,28
4	HTC-13	8491	1,19	4541	1,24	1,21
5	HTC-71	7506	1,05	4906	1,34	1,18
6	HTC-141	7633	1,07	4727	1,29	1,17
7	HTC-27	9995	1,40	3596	0,98	1,15
8	HTC-133	8303	1,17	4173	1,14	1,15
9	HTC-128	8213	1,15	4113	1,12	1,14
10	HTC-41	8054	1,13	4180	1,14	1,14
11	HTC-16	8197	1,15	4096	1,12	1,13
12	HTC-56	9442	1,33	3596	0,98	1,13
13	HTC-80	8326	1,17	3991	1,09	1,13
14	HTC-81	8252	1,16	4013	1,09	1,13
15	HTC-85	7775	1,09	4252	1,16	1,12
16	P30F35	7405	1,04	4489	1,22	1,12
	....					
147	HTC-48	3563	0,50	2389	0,65	0,57

## Agradecimentos

À Embrapa Milho e Sorgo, ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado e à FAPEMIG pelo apoio na divulgação dos resultados.

## Referências

- Fageria NK and Baligar VC (1993). Screening crop genotypes for mineral stresses. In: **Proceedings of the workshop on adaptation of plants to soil stresses**. INTSORMIL. Publication n. 94-2. University of Nebraska, Lincoln, NE.
- Oelkers EH, Valsami JE (2008). **Phosphate mineral reactivity and global sustainability**. Elements 4:83–88. doi:10.2113/GSELEMENTS.4.2.83.
- Guimarães LJM (2006). **Caracterização de genótipos de milho desenvolvidos sob estresse de nitrogênio e herança da eficiência de uso deste nutriente**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Parentoni SN and Souza Júnior CL (2008). Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, 43:893-901.
- Parentoni SN, Souza Júnior CL, Alves VMC, Gama EEG, Coelho AM, Oliveira AC, Guimarães CT, Vasconcelos MJV, Pacheco CAP, Meirelles WF, Magalhães J V, Guimarães LJM, Silva AR, Mendes FF and Schaffert RE (2010). Inheritance and breeding strategies for phosphorus efficiency in tropical maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, Bergamo, 55:1-15.
- Rezende MDV (2007). **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 362 p.