

## **Índice de seleção baseado na importância relativa das características e possibilidades de melhoramento em milho pipoca**

Carlos Alberto Scapim<sup>1</sup>, Rafael Augusto Vieira<sup>2</sup>, Renato da Rocha<sup>3</sup>, Vitor Hugo Domenes Tolentino<sup>3</sup>, José Lidércio Matias Júnior<sup>3</sup>, Marlon Mathias Dacal Coan<sup>3</sup> e Thiago Hideyo Nhiei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR [cascapim@uem.br](mailto:cascapim@uem.br) <sup>2</sup>Discente do curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR [rfavieira@msn.com](mailto:rfavieira@msn.com) <sup>3</sup>Mestrandos em Genética e Melhoramento, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR. [ato.d.rocha@gmail.com](mailto:ato.d.rocha@gmail.com), [vitortolentino@hotmail.com](mailto:vitortolentino@hotmail.com), [jr\\_lidercio@hotmail.com](mailto:jr_lidercio@hotmail.com), [marloncoan@gmail.com](mailto:marloncoan@gmail.com) [thiagonhie@hotmail.com](mailto:thiagonhie@hotmail.com)

**RESUMO** –O presente trabalho teve por objetivos, selecionar famílias de meio-irmãos de milho-pipoca com base em um novo índice de seleção e estimar o ganho genético e parâmetros envolvidos nesta seleção. O estudo foi realizado com famílias de meios-irmãos de quatro populações de pipoca, sendo avaliados, a capacidade de expansão (CE) e o rendimento de grãos (RG). A análise dos dados foi baseada em REML/BLUP, e os parâmetros genéticos também foram estimados. O índice de seleção proposto foi realizado com base na nova estatística Fi. Os BLUPs sugeriram uma grande variação para CE e RG dentro das populações. A variação genética dos compostos diminuiu do ciclo 0 a 1. O RG teve variação semelhante para ambos os compostos, e CE variou notoriamente dentro da UEM-Co-2. A seleção direta teve grandes ganhos nas características individuais, enquanto o ganho agregado foi mínimo. Porém, o índice de seleção com base em Fi teve resultados expressivos. Esta estratégia teve maior ganho agregado, partilhado satisfatoriamente entre CE e RG. Assim, o maior ganho em mL/g de pipocas por planta pode ser estimado. Em média, a vantagem no ganho total foi de 53% acima da seleção independente.

**Palavras-chave:** Estatística Fi, BLUP, Zeamays L., capacidade de expansão, rendimento de grãos.

### **Introdução**

A seleção baseada em múltiplas características é um assunto de interesse para os melhoristas de plantas. Essas características são importantes para os produtores e consumidores, e, enunciam os objetivos do melhoramento, na maioria das espécies cultivadas. Assim, diferentes estratégias de seleção são aplicadas para atender a essas necessidades de maneira satisfatória. Normalmente, os programas de melhoramento aplicam uma combinação de índices de seleção absoluta e seleção independente (SIMMONDS E SMARTT, 1999; YAN e FRÉGEAU-REID, 2008).

Na seleção de índices, importantes métodos foram apresentados ao longo das últimas oito décadas. Entre eles, alguns especialistas reconhecem o índice de Smith (1936) como o mais eficiente para o máximo progresso genético agregado, especialmente em retorno econômico (WELLS e KOFOID, 1985; BAKER, 1986). Embora esta abordagem seja interessante, tem algumas limitações relacionadas à atribuição de peso econômico adequado a

cada característica, obtendo estimativas de variância elevadas e erros de amostragem (SUBANDI et al., 1973; WELLS e KOFOID, 1985; BAKER, 1986; CÉRON-ROJAS et al., 2006). Na verdade, atribuir pesos econômicos apropriados é frequentemente difícil devido ao fato das características não serem economicamente mensuráveis ou os preços serem inconsistentes em relação aos seus mercados.

De maneira geral, apesar de o rendimento ser o objetivo primordial do melhoramento, a qualidade também é muito importante (YAN e FRÉGEAU-REID, 2008; SCAPIM et al., 2010), a exemplo do melhoramento da pipoca, em que a capacidade de expansão de grãos é tão importante quanto o rendimento. Os pesquisadores, no entanto, encontraram correlação negativa ou nula entre essas características, e o índice de seleção é útil para superar esta limitação (DAROS et al., 2004; VIEIRA et al., 2009; AMARAL JÚNIOR et al., 2010). Em muitos países, atribuir pesos econômicos para características de pipoca é problemático, pois o mercado comercial é quase que totalmente dedicado ao milho comum, e, portanto, o preço por saca de pipoca é mal definido. Isto leva a limitação do uso desses índices baseados em pesos econômicos. Portanto, um método de índice incluindo a variação genética de características seria útil para explorar as possibilidades de melhoramento em cada população de forma adequada.

Assim, o presente trabalho tem objetivos duplos. O primeiro é selecionar famílias de meio-irmãos de milho-pipoca com base em um novo abrangente índice de seleção e o segundo é estimar o ganho genético e parâmetros envolvidos nesta seleção.

### **Material e métodos**

No presente estudo, foram avaliadas quatro populações de milho pipoca (*Zeamays* L.), os quais consistiram de ciclos de seleção, 0 e 1, de dois compostos diferentes, denominados *UEM-Co1* e *UEM-Co2*. A *UEM-Co1* tem grãos amarelos, proveniente de 11 genótipos. A *UEM-Co2* apresenta grãos brancos, derivados de 9 fontes de pipoca. Todas as populações foram avaliadas em um centro de pesquisa da Universidade Estadual de Maringá, localizada em Maringá, Noroeste do Estado do Paraná, Brasil.

Foram avaliadas as características, capacidade de expansão (CE) e rendimento de grãos (RG) em cada parcela. Para medir a CE, uma amostra de 30 g de grãos foi tomada a partir de espigas que atingiram 13% de umidade após a secagem. Estas amostras foram estouradas durante 2,5 minutos a 270 °C, utilizando uma pipoqueira elétrica, e, em seguida, foram colocados em um cilindro graduado de 2L de forma a medir o seu volume. O CE foi

em mL de pipocas por grama de grãos estalado (mL g<sup>-1</sup>). O RG foi pesado em cada parcela, e depois corrigido para 13% de umidade e apresentados em g planta<sup>-1</sup>.

Em relação à análise estatística, inicialmente, analisou-se os dados pela máxima verossimilhança restrita (REML), para a obtenção das estimativas de variância. Em seguida, foram obtidas de cada família, as melhores previsões lineares imparciais (BLUPs), como segue:  $y = Xr + Zg + Wb + e$ , em que  $y$  é o vetor de dados;  $r$  é o vetor de repetições;  $g$  é o vetor de efeitos genéticos;  $b$  é o vetor de blocos do látice,  $e$  é o vetor de erros (RESENDE, 2002). O  $r$  e  $b$  foram definidos como de efeitos fixados. Os vetores  $g$  e  $e$  de efeitos aleatórios. As matrizes de incidência de cada efeito são representadas por  $X$ ,  $Z$  e  $W$ . Para analisar os dados foi utilizado o aplicativo computacional Statistical Analysis System-SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC).

Os parâmetros genéticos foram estimados da seguinte forma:

- i) Coeficiente da variação genética (CVg):  $\frac{\sqrt{\hat{\sigma}^2_g}}{\hat{\mu}} \times 100$ , em que  $\hat{\sigma}^2_g$  é a variância genética estimada e  $\hat{\mu}$  é a média geral; ii) coeficiente da variação do erro (CVe):  $\frac{\sqrt{\hat{\sigma}^2_e}}{\hat{\mu}} \times 100$ , em que  $\hat{\sigma}^2_e$  é a variância do erro estimada e  $\hat{\mu}$  é a média geral; iii) razão CVg/CVe: divisão CVg por CVe; e iv) herdabilidade no sentido amplo:  $\frac{\hat{\sigma}^2_g}{\hat{\sigma}^2_g + \hat{\sigma}^2_e}$ .

Para a obtenção dos índices de seleção e ganhos genéticos esperados, foi aplicado nos BLUPs pelo cálculo da Fide cada entrada, como segue:

$$F_i = \sum_{j=1}^J 1000 \times \left( \frac{(Y_{ij} - Y_{selj})^2 \times \left( \frac{(Y_{ij} - Y_{selj})}{|Y_{ij} - Y_{selj}| + 1/1000000} \times \text{SelDir} \right)}{2} \right) \times \text{RelImp}_j$$

Em que  $Y_{ij}$  é o BLUP da família  $i^{\text{th}}$  por característica  $j^{\text{th}}$ ;  $Y_{selj}$  é o BLUP médio das famílias que seriam selecionados por seleção direta na característica  $j^{\text{th}}$ ; na taxa de seleção específica;  $Y_j$  é a média geral de característica  $j^{\text{th}}$ ; SelDir é a direção da seleção (entrada 1 para características positivas de ganhos de produtividade desejáveis, por exemplo, e -1 para as características negativas de ganhos desejáveis, altura da espiga, por exemplo); e RelImp<sub>j</sub> é a importância relativa da característica  $j^{\text{th}}$ , variando de 0,01 a 0,99 e sua soma deve ser 1. Neste

estudo, a importância relativa de ambas RG e CE foi igual a 0,50. Os cálculos Fi foram realizados no Microsoft Excel.

Os ganhos genéticos esperados ( $\bullet G$ ) foram obtidos a partir da relação  $\bullet G = kh^2$ , em que  $k$  é o diferencial de seleção e  $h^2$  é a herdabilidade no sentido amplo. Todos os ganhos populacionais foram estimados utilizando a seleção direta (para a produtividade de grãos e capacidade de expansão), o índice de seleção baseado na nova proposta, e seleção independente. A taxa de seleção foi definido como 20% para todas as estratégias. Realizou-se a seleção independente, observando os BLUPs de características de cada família, e em seguida, selecionando ou não.

Para comparar a eficácia das estratégias, foram calculadas as seguintes estatísticas: a) porcentagem de ganhos individuais de cada característica em relação à média da população (% média), b) porcentagem de ganhos individuais de cada característica em relação à seleção direta (sd%), e, c) ganho agregado, tanto em mL de pipoca por planta e em porcentagem.

### **Resultados e discussão**

A Tabela 1 destaca os parâmetros genéticos, os BLUPs médios, mínimos e máximos. Os BLUPs de famílias mostraram ampla gama de variação na *UEM-Co-1* e *UEM-Co-2*. Em ambas as características, os BLUPs mínimos e máximos apresentaram diferenças importantes para a média geral. A princípio, essas respostas podem sugerir que houve variação genética suficiente para a seleção, pois os BLUPs representam valores genéticos das melhores famílias (VIANA et al., 2010, 2011).

Quanto à capacidade de expansão, os BLUPs médios e máximos foram maiores para *UEM-Co-1* do que para *UEM-Co-2*. No entanto, essas estatísticas para RG foram maiores na *UEM-Co-2*. O BLUP médio das 20% melhores famílias revelou possibilidades de melhoramento eficazes de cada característica, medida pela seleção direta. Em geral, as possibilidades de melhoramento são reduzidas ao longo de ciclos da seleção, especialmente para RG. Para o CE, no entanto, as possibilidades foram semelhantes em ambos os ciclos da *UEM-Co-2*, devido à sua grande variação genética.

Observou-se que em ambos CE e RG, os compostos diminuíram a variação genética do ciclo 0 ao 1. Isto confirmou a redução esperada sobre as possibilidades de melhoramento, como sugerido anteriormente. O rendimento de grãos teve variação genética similar em *UEM-Co-1* e *UEM-Co-2*. Ao contrário, CE variou notoriamente na *UEM-Co-2*. Isto é favorável para afirmar a eficiência da seleção do novo índice sob diferentes condições.

A maioria das estimativas de herdabilidade foram superiores a 0,50, mostrando que a variação fenotípica foi maior devido a causas genéticas. As estimativas de herdabilidade para CE foram maiores em *UEM-Co-2* do que em *UEM-Co-1*. Isto é parcialmente devido à maior variância genética e as possibilidades de melhoramento.

A Tabela 2 destaca os ganhos genéticos esperados da seleção direta nas características individuais, o índice de seleção e a seleção independente. Apesar dos ganhos da seleção direta ter sido grandes, esta estratégia não atingiu de forma eficiente ganhos em ambos, RG e CE. Observou-se em todas as populações, o baixo acúmulo de ganhos agregados se for usada à seleção direta. Esta é uma condição indesejável, pois ambas as características são cruciais no melhoramento da pipoca.

O índice de seleção baseado na estatística  $F_i$  teve grandes resultados. Esta estratégia revelou o maior ganho agregado entre as estratégias testadas. Além disso, este ganho total foi dividido satisfatoriamente entre CE e RG ao longo dos ciclos e nos compostos, como observado pelos valores  $sd\%$  (Tabela 2). De fato, os ganhos adequados em ambas às características são uma grande vantagem, pois pode ser estimado o maior ganho em mL de pipocas por planta. Isto foi encontrado nas diferentes possibilidades de melhoramento para CE e RG. Em média, essa vantagem era de 53% acima do ganho agregado usando na seleção independente.

Em muitas espécies cultivadas, várias características de produtividade, qualidade e estabilidade muitas vezes são selecionadas simultaneamente. Outros estudos, em outras culturas e características podem estender a aplicabilidade do  $F_i$  no índice de seleção.

### **Conclusão**

O índice de seleção com base na estatística  $F_i$  teve resultados importantes, sendo observado ganho agregado para ambas às características CE e RG.

### **Literaturacitada**

AMARAL JÚNIOR, A.T.;FREITAS JÚNIOR, S.P.;RANGEL, R.M.;PENA, G.F.;RIBEIRO, R.M.;MORAIS, R.C.; SCHUELTER, A.R.Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. *Genetics and Molecular Research*, v. 9, n.1, p.340-347, 2010.

BAKER, R. *Selection Index in Plant Breeding*, CRC Press, Boca Raton. 1986.

CÉRON-ROJAS, J.J.; CROSSA, J.; SAHAGUN-CASTELLANOS, J.; CASTILLO-GONZALEZ, F.; SANTACRUZ-VARELA, A. A selection index method based on eigenanalysis. *Crop Science*, v.46, n.4, p.1711-1721, 2006.

DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; PEREIRA, M.G.; SANTOS, F.S.; GABRIEL, A.P.C.; SCAPIM, C.A.; FREITAS JÚNIOR, S.P.; SILVÉRIO, L. Recurrent selection in inbred popcorn families. *Scientia Agricola*, v.61, n.6, p.609-614, 2004.

SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; VIEIRA, R.A.; PINTO, R.J.B.; CONRADO, T.V. Correlations between the stability and adaptability statistics of popcorn cultivars. *Euphytica*, v.174, n.2, p.209-218, 2010.

SIMMONDS, N.; SMARTT, J. Principles of crop improvement, Blackwell Science Ltd. Press, Oxford. 1999.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMEIG, L.T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. *Crop Science*, v.13, n.2, p.184-186, 1973.

VIANA, J.M.S.; SOBREIRA, F.M.; RESENDE, M.D.V.; FARIA, V.R. Multi-trait BLUP in half-sib selection of annual crops. *Plant Breeding*, v.129, n.6, p.599-604, 2010.

VIANA, J.M.S.; FARIA, V.R.; SILVA, F.F.; RESENDE, M.D.V. Best linear unbiased prediction and family selection in crop species. *Crop Science*, v.51, n.6, p.2371-2381, 2011.

VIEIRA, R.A.; SOUZA NETO, I.L.; BIGNOTTO, L.S.; CRUZ, C.D.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; SCAPIM, C.A. Heterotic parametrization for economically important traits in popcorn. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, n.3, p.411-419, 2009.

WELLS, W.C.; KOFOID, K.D. Selection indices to improve an intermating population of spring wheat. *Crop Science*, v.26, n.6, p.1104-1109, 1985.

YAN, W.; FRÉGEAU-REID, J. Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Science*, v.48, n.2, p.417-423, 2008.

**Tabela 1.** Parâmetros genéticos, BLUPs médios, máximos e mínimos para a capacidade de expansão e rendimento de grãos de quatro populações de pipoca.

Estatística	Capacidade de expansão (mL pipoca/g grãos)				Rendimento de grãos (g planta <sup>-1</sup> )			
	<i>UEM-Co-1</i>		<i>UEM-Co-2</i>		<i>UEM-Co-1</i>		<i>UEM-Co-2</i>	
	Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 0	Ciclo 1	Ciclo 0	Ciclo 1
Médiageral	29.63	30.57	22.80	28.25	39.33	43.31	43.53	52.62
BLUP médio das 20% melhores famílias	32.21	32.69	26.44	31.74	44.85	46.67	49.70	55.94
BLUP máximo	34.50	34.53	29.26	34.21	51.23	52.68	56.52	61.85
BLUP mínimo	22.41	25.50	13.79	20.07	28.84	36.61	32.60	46.02
Variância Genética	7.75	5.58	10.89	9.37	23.78	13.57	28.05	13.53
Herdabilidade no sentido amplo	0.59	0.45	0.72	0.74	0.62	0.51	0.59	0.54
CVg	9.40	7.73	14.47	10.84	12.40	8.51	12.17	6.99

**Tabela 2.** Ganho genético esperado no rendimento e capacidade de expansão da seleção baseada nas características individuais, no índice de seleção e seleção independente (IndSel), e suas eficiências relativas.

População	Base da seleção	RG			CE			Ganho agregado	
		Ganho (g/plt)	% média	% sd <sup>†</sup>	Ganho (mL/g)	% média	% sd	Ganho <sup>‡</sup>	% média
<i>UEM-Co1</i> -ciclo 0	RG	3.46	8.8	100	0.39	1.3	25	1.3 (62)	10.1
	CE	0.54	1.4	16	1.53	5.2	100	0.8 (38)	6.5
	Índice	3.06	7.8	89	0.84	2.8	55	2.6 (124)	10.6
	IndSel	2.15	5.5	62	0.99	3.3	64	2.1 (100)	8.8
<i>UEM-Co1</i> -ciclo 1	RG	1.73	4.0	100	0.24	0.8	25	0.4 (80)	4.8
	CE	0.26	0.6	15	0.97	3.2	100	0.3 (60)	3.8
	Índice	1.45	3.4	84	0.65	2.1	67	0.9 (180)	5.5
	IndSel	0.90	2.0	52	0.57	1.9	59	0.5 (100)	4.9
<i>UEM-Co2</i> -ciclo 0	RG	3.68	8.4	100	0.67	3.0	26	2.5 (69)	11.4
	CE	0.46	1.1	13	2.64	11.6	100	1.2 (33)	12.6
	Índice	2.86	6.6	78	1.90	8.3	72	5.4 (150)	14.9
	IndSel	2.13	4.9	58	1.70	7.5	64	3.6 (100)	12.4
<i>UEM-Co2</i> -ciclo 1	RG	1.82	3.5	100	0.60	2.1	23	1.1 (69)	5.6
	CE	0.21	0.4	12	2.61	9.2	100	0.6 (38)	9.6
	Índice	1.05	2.0	58	2.34	8.3	90	2.5 (156)	10.3
	IndSel	0.95	1.8	52	1.74	6.0	65	1.6 (100)	7.8

<sup>†</sup>Porcentagem em relação ao ganho de seleção direta. <sup>‡</sup>em mL da pipoca/planta. Eficiências relativas em ganhos estimados estão exibidas entre parênteses. Seleção independente foi tomada como padrão.