

# AVALIAÇÃO DE PROGÊNIES $F_{2:4}$ E $F_{4:6}$ DE SOJA E PERSPECTIVAS DO USO DE TESTE PRECOCE PARA A PRODUÇÃO DE GRÃOS <sup>(1)</sup>

AGNALDO DONIZETE FERREIRA DE CARVALHO <sup>(2)</sup>; ISAIAS OLÍVIO GERALDI <sup>(3\*)</sup>;  
VANDERLEI DA SILVA SANTOS <sup>(4)</sup>

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo verificar as perspectivas do uso da seleção precoce para a produção de grãos no melhoramento genético da soja. Para isso, obteve-se uma população de soja, derivada do cruzamento entre as linhagens 14 e 38, divergentes para a produção de grãos, de onde foram extraídas 100 progênies  $F_{2:4}$  e 100 progênies  $F_{4:6}$ . Estas foram avaliadas experimentalmente no ano agrícola de 2006/2007, utilizando o delineamento em látice com quatro repetições, e em dois locais, no município de Piracicaba (SP). As parcelas foram constituídas de uma linha de 2 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, contendo 35 plantas após o desbaste. A partir das análises de variância conjuntas da produção de grãos das gerações  $F_{2:4}$  e  $F_{4:6}$  foram estimados os componentes de variância, os coeficientes de herdabilidade entre médias de progênies e as respostas esperadas com seleção. As respostas esperadas com seleção foram cerca de 60% superiores na geração  $F_{4:6}$ ; entretanto, o tempo para completar um ciclo seria maior, o que compensaria esta superioridade. Os resultados indicam que a seleção precoce pode ser eficiente em soja, desde que aplicada com intensidades moderadas.

**Palavras-chave:** Seleção precoce, teste precoce, resposta à seleção.

## ABSTRACT

### EVALUATION OF $F_{2:4}$ AND $F_{4:6}$ PROGENIES OF SOYBEANS AND PERSPECTIVES OF USING EARLY GENERATION TESTING FOR GRAIN YIELD

The objective of this work was to evaluate the perspectives of using early generation testing for grain yield in soybeans. The base material comprises a population derived from a two-way cross between lines 14 and 38, divergent for grain yield. One hundred progenies  $F_{2:4}$  and one hundred progenies  $F_{4:6}$  were derived from this population and evaluated in the 2006/07 growing season, using a lattice design with 4 replications, in two locations, at Piracicaba, SP. Plots consisted of 2 meter long rows spaced 0,5 meter apart, with 35 plants after thinning. The components of variance, coefficients of heritability on a plot mean basis and expected response to selection were estimated for grain yield from the joint analysis of variance, for  $F_{2:4}$  and  $F_{4:6}$  generations. Estimates of expected response to selection were about 60% higher in the  $F_{4:6}$  generation; however this superiority would probably be offset by the larger time to complete a cycle. General results indicate that early generation testing for grain yield in soybeans can be effective for moderate selection intensities.

**Key words:** early generation testing, early selection, selection response.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 12 de fevereiro de 2008 e aceito em 14 de maio de 2009.

<sup>(2)</sup> Nidera Sementes Ltda. Caixa Postal 2231, 38400-985 Uberlândia (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: [agnaldo.carvalho@niderasementes.com.br](mailto:agnaldo.carvalho@niderasementes.com.br)

<sup>(3)</sup> Departamento de Genética, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – USP. Caixa Postal 83, 13400-970 Piracicaba (SP). Bolsista de PP do CNPq. E-mail: [iogerald@esalq.usp.br](mailto:iogerald@esalq.usp.br) (\*) Autor correspondente.

<sup>(4)</sup> Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Caixa Postal 007, 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: [vssantos@cnpmf.embrapa.br](mailto:vssantos@cnpmf.embrapa.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A eficiência de um método de melhoramento é avaliada através do progresso médio obtido por ano, o que torna os procedimentos que completam um ciclo de seleção em menor tempo mais atraentes para o pesquisador. No melhoramento de espécies autógamas existem dois métodos que se enquadram neste contexto: o SSD (single seed descent) e o teste precoce (early generation testing).

O teste precoce é utilizado no melhoramento de espécies autógamas para avaliar o potencial das progênies em estágios iniciais (progênies derivadas de plantas  $F_2$  ou  $F_3$ ). Com isso, eliminam-se as progênies de baixo potencial e concentram-se os esforços e recursos naquelas de alto potencial, para os caracteres de interesse. O método, portanto, baseia-se na premissa de que o desempenho de uma progênie em gerações precoces é um bom preditor do desempenho das linhas puras dela derivadas (FEHR, 1987).

Em espécies autógamas, alguns estudos relatam resultados favoráveis com o teste precoce (MAHMUD e KRAMER, 1951; FREY 1954; NTARE e AKEN'OVA, 1985; SHARMA, 1994; SAINT-MARTIN e GERALDI, 2002), enquanto outros não (WEISS et al., 1947; BRIGGS e SHEBESKI, 1971; KNOTT e KUMAR, 1975; SEITZER e EVANS, 1978; JONES e SMITH, 2006). Este conflito de resultados pode ser explicado por diversas razões, entre elas, por se tratar de espécies e populações diferentes e, portanto, com distintos graus de variabilidade genética. Além disso, o método tem sido utilizado de forma diferente pelos diferentes pesquisadores, o que dificulta as comparações dos resultados. Assim, em alguns casos, a seleção é praticada em progênies  $F_{2,3}$ , enquanto em outros, em progênies  $F_{3,4}$ . Também, diferentes intensidades de seleção têm sido aplicadas nas etapas de seleção entre progênies e, posteriormente, dentro de progênies.

Verifica-se ainda que apesar da importância do assunto, existem poucos trabalhos relacionados com o teste precoce em soja, e que a maioria deles foi realizada em países de clima temperado. Reitera-se que a importância do teste precoce está aumentando, devido ao uso crescente de métodos de seleção recorrente em espécies autógamas, onde as progênies geralmente são avaliadas em gerações precoces (FEHR, 1987). Outro ponto a destacar é que existem poucos trabalhos que relacionam os resultados às propriedades genéticas da população-base, tais como coeficientes de herdabilidade e coeficientes de variação genética.

Este trabalho teve como objetivo investigar a eficiência do teste precoce no melhoramento genético de soja a partir de estimativas de respostas esperadas

com seleção em progênies derivadas de plantas  $F_2$  e progênies derivadas de plantas  $F_4$ .

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado em casa de vegetação o cruzamento entre duas linhagens de ciclo semiprecoce (linhagens 14 e 38) do programa de Genética e Melhoramento de Soja do Departamento de Genética da ESALQ/USP, contrastantes para a produção de grãos, e oriundas do cruzamento entre os genitores PI-123439 e PI-239235. As sementes  $F_1$  foram semeadas e autofecundadas naturalmente para a obtenção das sementes  $F_2$ . Estas foram semeadas em casa de vegetação e, na época da maturação, colhidas individualmente para a obtenção de 100 progênies  $F_{2,3}$ . Pelo mesmo processo, a partir de amostras de plantas  $F_3$  e  $F_4$  da mesma população foram obtidas 100 progênies  $F_{3,4}$  e 100 progênies  $F_{4,5}$ . Com o objetivo de multiplicar as sementes, no ano agrícola de 2005/2006 as 300 progênies foram semeadas em linhas individuais e, na época da maturação, colhidas em *bulk*, dando origem às progênies  $F_{2,4}$ ,  $F_{3,5}$  e  $F_{4,6}$ .

As progênies  $F_{2,4}$ ,  $F_{3,5}$  e  $F_{4,6}$  foram avaliadas no ano agrícolas de 2006/2007, na área experimental do Departamento de Genética da ESALQ/USP, em Piracicaba (SP) e na Estação Experimental do Departamento de Genética em Anhumas, em Piracicaba (SP). O delineamento utilizado para cada local e para cada tipo de progênie foi o de látice simples duplicado (4 repetições). A parcela experimental foi constituída de uma linha de 2 m de comprimento, espaçada de 0,5 m ( $1 \text{ m}^2$ ). Foram semeadas 50 sementes por parcela com desbaste para 35 plantas por parcela realizado 25 dias após o plantio. Todos os tratos culturais e cuidados foram aplicados, visando obter resultados com precisão experimental adequada. Após a colheita e trilhagem das parcelas foi obtida a produção de grãos ( $\text{g parcela}^{-1}$ ).

As análises de variância de cada experimento foram realizadas utilizando o programa SAS (SAS INSTITUTE, 1999), com base no modelo estatístico a seguir (VENCOSKY e BARRIGA, 1992), em que todos os efeitos, exceto a média ( $\mu$ ) e locais ( $l$ ), foram considerados aleatórios:

$$Y_{ijkm} = \mu + l_m + p_i + r_{j(m)} + b_{k(jm)} + pl_{im} + e_{ijklm}$$

em que:

$Y_{ijkm}$  é a média da progênie  $i$  no bloco  $k$  da repetição  $j$  no local  $m$ ;  $\mu$  é a média geral;  $l_m$  é o efeito de locais ( $m = 1, 2$ );  $p_i$  é o efeito de progênies ( $i = 1, 2, \dots, 100$ );  $r_{j(m)}$  é o efeito de repetições dentro de locais ( $j = 1, 2, \dots, 4$ );  $b_{k(jm)}$  é o efeito de blocos dentro de

repetições e de locais ( $k = 1, 2, \dots, 10$ );  $(pl)_{im}$  é o efeito da interação da progênie  $i$  com o local  $m$ ; e  $e_{ijkm}$  é o erro experimental associado à parcela  $ijkm$ . Nestas análises, o estande da parcela foi utilizado como covariável e assim todas as parcelas foram corrigidas para o estande médio.

A partir dos quadrados médios das análises de variância conjuntas foram estimadas a média das progênes ( $\bar{X}$ ), a variância genética entre progênes ( $\hat{\sigma}_p^2$ ), a variância fenotípica entre médias de progênes ( $\hat{\sigma}_F^2$ ) e, a partir destas, o coeficiente de herdabilidade entre médias de progênes no sentido amplo [ $\hat{h}_X^2\% = 100(\hat{\sigma}_p^2 / \hat{\sigma}_F^2)$ ] e o coeficiente de variação genética [ $CV_g\% = 100(\hat{\sigma}_p / \bar{X})$ ]. As estimativas das respostas esperadas com seleção foram obtidas por meio da expressão  $R_s = i\hat{h}_X^2\hat{\sigma}_F$ , em que  $i$  é o diferencial de seleção standardizado associado à porcentagem de seleção  $\hat{h}_X^2$ , é a herdabilidade entre médias de progênes e  $\hat{\sigma}_F$  é o desvio-padrão fenotípico das médias de progênes (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). Para a estimação de  $R_s$  foram consideradas duas porcentagens de seleção: 40% e 50%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão apresentadas as análises de variância conjuntas dos dois locais para as gerações  $F_{2:4}$  e  $F_{4:6}$ . Os experimentos referentes à geração  $F_{3:5}$  foram descartados devido ao baixo estande das parcelas, o que acarretou baixa precisão experimental. Observa-se que as médias para as duas gerações foram muito próximas, o que era esperado, visto que as progênes foram obtidas de amostras da mesma população. Observa-se ainda que os coeficientes de variação experimental foram de aproximadamente 25%, aparentemente altos. Entretanto, esta é a magnitude que se tem conseguido quando se utilizam parcelas lineares em soja e, portanto, estão de acordo com outros trabalhos da literatura, realizados em nossas condições (SILVA, 2005; BARONA, 2007). Para as

duas gerações foram detectadas diferenças significativas entre progênes, entre locais e para a interação progênes por locais.

Na tabela 2 estão relacionadas as estimativas das variâncias genéticas entre progênes ( $\hat{\sigma}_p^2$ ), das variâncias da interação progênes por locais ( $\hat{\sigma}_{pl}^2$ ), dos coeficientes de herdabilidade entre médias de progênes ( $\hat{h}_X^2\%$ ) e dos coeficientes de variação genética ( $CV_g\%$ ). Pode-se verificar nas estimativas das variâncias genéticas entre progênes e dos coeficientes de herdabilidade boa precisão, conforme demonstram os pequenos intervalos de confiança. Verifica-se ainda que as estimativas das variâncias da interação progênes por locais foram menores que as estimativas das respectivas variâncias genéticas entre progênes, principalmente para progênes  $F_{4:6}$ .

As estimativas dos coeficientes de herdabilidades entre médias de progênes foram de magnitude alta, o que não é muito comum, visto que a produção de grãos é um caráter muito influenciado pelo ambiente. Tem-se que considerar, porém, que se trata de um coeficiente obtido com a média de dois locais e quatro repetições por local, que contribuem para reduzir a variância fenotípica entre médias de progênes. Observa-se ainda que esta foi maior para a geração  $F_{4:6}$  (69,5% vs. 52,8%), o mesmo ocorrendo para o coeficiente de variação genética (13,6% vs. 9,6%), o que também é esperado, visto que entre progênes  $F_{4:6}$  explora-se uma porção bem maior da variância genética aditiva da população ( $1,75 \sigma_A^2$  para  $F_{4:6}$  vs.  $1,0 \sigma_A^2$  para  $F_{2:4}$ ).

As respostas esperadas com seleção (Tabela 3) foram calculadas supondo intensidades brandas de seleção (40% e 50%). Verifica-se na literatura que não se deve praticar seleção intensa em progênes  $F_{2:4}$ , devido ao fato de haver ainda alto grau de heterozigose, o que faz com que as performances de muitas progênes não se repitam nas gerações seguintes (BERNARDO, 1992).

**Tabela 1.** Quadrados médios e significâncias das análises de variância conjuntas para a produção de grãos nas gerações  $F_{2:4}$  e  $F_{4:6}$  em soja

Fonte de Variação	GL	$F_{2:4}$	$F_{4:6}$
Progênes (P)	99	5.276,60**	7.679,63**
Locais (L)	1	118.456,72*	127.598,59**
P x L	99	3.569,57**	3.341,13**
Erro médio	520	2.492,23	2.343,12
Média da população (g m <sup>-2</sup> )		194,00	189,72
CV (%)		25,73	25,51

\*\* , \* significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

**Tabela 2.** Estimativas das variâncias genéticas entre progênes ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) com os respectivos intervalos de confiança (LI a LS), da interação entre progênes e locais ( $\hat{\sigma}_{pl}^2$ ), das herdabilidades entre médias de progênes ( $\hat{h}_x^2\%$ ) com os respectivos intervalos de confiança (LI a LS), e dos coeficientes de variação genética ( $CV_g\%$ ), para a produção de grãos de soja avaliadas nas gerações  $F_{2:4}$  e  $F_{4:6}$

Geração	LI	$\hat{\sigma}_p^2$	LS	$\hat{\sigma}_{pl}^2$	LI	$\hat{h}_x^2\%$	LS	$CV_g\%$
$F_{2:4}$	233,8	348,0	742,1	134,7	34,9	52,8	64,6	9,6
$F_{4:6}$	550,7	667,1	1.369,5	124,8	57,9	69,5	77,2	13,6

**Tabela 3.** Respostas esperadas com seleção para a produção de grãos, em porcentagem da média ( $R_s\%$ ), para duas intensidades de seleção (40% e 50%), praticadas nas gerações  $F_{2:4}$  e  $F_{4:6}$  em soja

Geração de Seleção	$R_s\%$	
	40%	50%
$F_{2:4}$	6,75	5,59
$F_{4:6}$	10,96	9,08

No mesmo sentido, FEHR (1987) argumenta de que a seleção precoce só é eficiente para o descarte de progênes seguramente inferiores. Observa-se que para as duas intensidades de seleção a resposta esperada com seleção para a geração  $F_{4:6}$  foi cerca de 60% superior à da geração  $F_{2:4}$ . Tem-se que considerar porém, que para se chegar à geração  $F_4$  é necessário pelo menos mais um ano agrícola e, portanto, esta superioridade seria compensada pelo maior tempo para completar um ciclo. Além disso, em  $F_4$  não se trata mais de teste precoce, visto que as plantas já estão próximas da homozigose.

Outra possibilidade seria a avaliação de progênes derivadas de plantas  $F_3$ , isto é, progênes  $F_{3\_}$ . Infelizmente, os dados relativos às progênes  $F_{3:5}$  não puderam ser aproveitados no presente trabalho, devido à baixa taxa de germinação das sementes. É de se esperar, porém, que o progresso com seleção entre progênes  $F_{3:5}$  seja intermediário aos valores obtidos para as gerações  $F_{2:4}$  e  $F_{4:6}$ , visto que entre progênes  $F_{3\_}$  explora-se  $1,5\sigma_\lambda^2$ . Além disso, realizando-se dois plantios por ano, pode-se obter progênes  $F_{3:4}$  com o mesmo tempo em que se leva para obter progênes  $F_{2:3}$ . Em nossas condições (Região Sudeste do Brasil), os cruzamentos só podem ser feitos no verão. Além disso, as avaliações e seleções também devem ser feitas na época normal de cultivo da espécie que é o verão. Portanto, um possível esquema seria o seguinte: Ano 1: Verão: realização de cruzamentos para a obtenção de sementes  $F_1$ . Ano 1: Inverno: Plantio de sementes  $F_1$  em casa de vegetação para a obtenção de sementes  $F_2$ . Ano 2: Verão: Plantio de sementes  $F_2$  para a obtenção de progênes  $F_{2:3}$  ou para

a obtenção de uma amostra de sementes  $F_3$ . Ano 2: Inverno: Plantio de sementes  $F_3$  para obtenção de progênes  $F_{3:4}$ . Ano 3: Verão: Avaliação experimental de progênes  $F_{2:3}$  ou de progênes  $F_{3:4}$ . Se houver interesse em multiplicar sementes para realizar experimentos com mais repetições (obtenção de progênes  $F_{2:4}$  ou  $F_{3:5}$ ), os experimentos seriam feitos no Verão do Ano 4. De acordo com este esquema, portanto, para a obtenção e avaliação de progênes  $F_{4\_}$  seria necessário mais um ano.

Vários trabalhos corroboram esta afirmação. Em uma série de estudos em trigo, MCNEAL et al. (1964), HEYNE e FINNEY (1965) e LEB SOCK et al. (1964) relatam a eficiência do teste precoce para o melhoramento visando à qualidade da panificação a partir da geração  $F_3$ . Em soja, THORNE (1974) obtiveram correlações de  $0,58^{**}$  (em média para 31 cruzamentos) entre progênes derivadas de plantas  $F_3$  e a geração  $F_5$ . VOIGHT e WEBER (1960) compararam o teste precoce com base em progênes  $F_{3:4}$  com o método genealógico e o método da população em soja e verificaram que o teste precoce produziu maior número de linhas puras superiores. Ainda em soja, SAINT-MARTIN e GERALDI (2002) compararam o teste precoce com base em três gerações de seleção: progênes  $F_{2\_}$ , progênes  $F_{3\_}$  e progênes  $F_{4\_}$ , a partir de uma população derivada de cruzamentos múltiplos. Obtiveram, com os três tipos de progênes, respostas com seleção similares para a produção de grãos, da ordem de 4%. Entretanto, a seleção com progênes  $F_{2\_}$  gerou linhas puras mais altas e, conseqüentemente, com maior taxa de acamamento, o que não ocorreu com progênes  $F_{3\_}$  e  $F_{4\_}$ . Devido a esse fato, os autores recomendam que a seleção precoce seja iniciada em progênes derivadas de plantas  $F_3$ , isto é, progênes  $F_{3\_}$ , com vistas à obtenção de linhas puras superiores, mas sem problemas de acamamento. Recomendações semelhantes foram feitas por WEISS et al. (1947).

#### 4. CONCLUSÃO

A seleção precoce pode ser utilizada em programas de melhoramento de soja para descartar progênes não promissoras.

## AGRADECIMENTOS

Aos servidores do laboratório, Fernandes de Araújo e Gustavo Alexandre Perina, pela colaboração em todas as etapas do trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela Bolsa de Produtividade à Pesquisa de IOG (Processo 308159/2004-7)

## REFERENCIAS

- BARONA, M.A.A. **Epistasia e interação por locais para a produção de grãos em soja**. 2007. 81f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, Piracicaba.
- BERNARDO, R. Retention of genetically superior lines during early-generation testcrossing of maize. **Crop Science**, v.32, 933-937, 1992.
- BRIGGS, K.G.; SHEBESKI, L.H. Early generation selection for yield and bread making quality of hard red spring wheat. **Euphytica**, v.20, p.453-463, 1971.
- FEHR, W.R. **Principles of cultivar development: Theory and Technique**. 1.ed. New York: Mc-Graw Hill, 1987. 536 p.
- FREY, K. J. The use of F<sub>2</sub> lines in predicting the performance of F<sub>3</sub> selections in two barley crosses. **Agronomy Journal**, v.46, p.541-544, 1954.
- HEYNE, E.G.; FINNEY, K.F. F<sub>2</sub> progeny test for studying agronomic and quality characteristics in hard red winter wheat. **Crop Science**, v.5, p.129-132, 1965.
- JONES, D.G.; SMITH, C.W. Early generation testing in upland cotton. **Crop Science**, v.46, p.1-5, 2006.
- KNOTT, D.R.; KUMAR, J. Comparison of early generation yield testing and a single seed descent procedure in wheat breeding. **Crop Science**, v.15, p.295-299, 1975.
- LEBSOCK, K.L., FIFIELD, C.C., GURNEY, G.M., GREENAWAY, W.T. Variability and evaluation of mixing tolerance, protein content and sedimentation value in early generations of spring wheat. **Crop Science**, v.4, p.171-174, 1964.
- MAHMUD, I.; KRAMER, H.H. Segregation for yield, height and maturity following a soybean cross. **Agronomy Journal**, v.43, p.605-609, 1951.
- McNEAL, F.H.; BERG, M.A.; BEQUETTE, R.K.; WATSON, C.A.; KOCH, E.J. Early generation selection for flour absorption and dough mixing properties in a Lemhi x Thatcher wheat cross. **Crop Science**, v.4, p.105-108, 1964.
- NTARE, B.R.; AKEN'OVA, M. Yield stability in segregating populations of cowpea. **Crop Science**, v.25, p.208-211, 1985.
- SAINT-MARTIN, S.K.; GERALDI, I.O. Comparison of three procedures for early generations testing of soybean. **Crop Science**, v.42, p.705-709, 2002.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide for personal computers**. Version 8.1. Cary: Nashville University, 1999.
- SEITZER, J.F.; EVANS, L.E. Yield grains in wheat by the pedigree method of selection and two early yields tests. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtg**, v.80, p.1-10, 1978.
- SHARMA, R.C. Early generation selection for grain-filling period in wheat. **Crop Science**, v.34, p.945-948, 1994.
- SILVA, V.S. **Seleção de pré-cultivares de soja baseada em índices**. 2005. 104f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, Piracicaba.
- THORNE, J.C. Early generation testing and selection in soybeans: association of yields in F<sub>3</sub> and F<sub>5</sub> derived lines. **Crop Science**, v.14, p.898-900, 1974.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**. 1.ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- VOIGHT, R.L.; WEBER, C.R. Effectiveness of selection methods for yield in soybean crosses. **Agronomy Journal**, v.52, p.527-530, 1960.
- WEISS, M.G.; WEBER, C.R.; KALTON, R.R. Early generation testing in soybeans. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.39, p.791-810, 1947.