

VARIABILIDADE E CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES EM CRUZAMENTOS DE SOJA

Ângela Celis de Almeida Lopes^{1,4}; Natal Antonio Vello^{2,4*}; Fábio Pandini³; Maurisrael de Moura Rocha^{1,5}; Claudio Yuji Tsutsumi^{1,5}

¹ Pós-Graduandos em Genética e Melhoramento de Plantas - USP/ESALQ.

² Depto. de Genética - USP/ESALQ, C.P. 83 - CEP: 13400-970 - Piracicaba, SP.

³ In memoriam

⁴ Bolsista CNPq.

⁵ Bolsista da CAPES.

*Autor correspondente <naavello@esalq.usp.br>

RESUMO: A estimação de parâmetros em gerações iniciais de endogamia tem importância para direcionar o programa de melhoramento, principalmente em relação ao processo de seleção dos genótipos mais promissores. Este trabalho avaliou 21 genótipos de soja (seis parentais e 15 combinações dialélicas em F_2), em dois locais (ESALQ e Anhembi) de Piracicaba, SP. O delineamento usado foi em blocos ao acaso, com seis repetições por local. A parcela experimental foi de 12 covas de plantas individuais espaçadas de 0,80 m x 0,80 m. Os caracteres avaliados foram número de dias e altura da planta no florescimento e maturidade; valor agrônomo; produtividade de grãos; teor de óleo na semente e produtividade de óleo. Todas as estimativas de parâmetros basearam-se nos componentes das análises de variância e covariância individuais e conjuntas. Parentais e F_2 apresentaram variabilidade para todos os caracteres. Em termos de qualidade ambiental favorável, os dois locais foram bons para a expressão do potencial genético dos genótipos, no entanto, o local Anhembi foi mais favorável para produtividade de grãos. A interação genótipos x locais mostrou-se um importante componente da variação fenotípica, com exceção do caráter teor de óleo. As correlações genotípicas foram geralmente maiores que as fenotípicas e de ambiente nos dois locais. A magnitude das correlações fenotípicas e genotípicas mostrou que o fenótipo refletiu satisfatoriamente o genótipo. Os caracteres relacionados ao florescimento e à maturidade mostraram-se importantes para o melhoramento da produtividade, com destaque para o valor agrônomo. Existe evidência de dificuldades em obter novos genótipos produtivos e precoces.

Palavras-chave: *Glycine max*, interação genótipo x local, produtividade de grãos, produtividade de óleo

VARIABILITY AND CORRELATIONS AMONG TRAITS IN SOYBEAN CROSSES

ABSTRACT: The estimation of parameters in initial inbreeding generations is important to direct the breeding program, mainly for the selection of the most promising genotypes. This research evaluated twenty-one soybean genotypes (six parents and their 15 diallel crosses in F_2), in two locations (ESALQ and Anhembi) of Piracicaba, SP, Brazil. A randomized complete block design was adopted, with six replications in each location. The experimental plots were represented by 12 hills of individual plants spaced 0.80 m x 0.80 m. The evaluated traits were: number of days and plant height at flowering and maturity; agronomic value; seed yield; seed oil content; and oil yield. All parameter estimates were based on the components of the variance and covariance from individual and combined analyses. Parents and F_2 presented variability for all the traits. In terms of favorable environmental quality, the two locations were good for the expression of the genetic potential of the genotypes, however Anhembi was the most favorable for the expression of seed yield. The genotype x location interaction was an important component of the phenotypic variation, except for seed oil content. The genotypic correlations were usually larger than the phenotypic and environmental, for the two locations. The magnitude of the phenotypic and genotypic correlations, showed that the phenotypes reflected the genotypes satisfactory. The traits related to flowering and to maturity were important for the improvement of seed yield, with prominence for agronomic value. There was an evidence of difficulties to develop new soybean genotypes with high seed yield and earliness.

Key words: *Glycine max*, genotype x location interaction, seed yield, oil yield

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é umas das mais importantes oleaginosas cultivadas no mundo, principalmente devido aos elevados teores de proteína (40%), óleo (20%) e pelo alto rendimento de grãos. No Brasil, ela é cultivada numa grande diversidade de

ambientes, englobando altas e baixas latitudes. Devido a essa ampla variação, torna-se fundamental a seleção de genótipos com elevada produtividade e adaptabilidade a vários ambientes.

A maioria dos programas de melhoramento envolvem quatro etapas principais: escolha dos parentais; cruzamentos entre parentais e obtenção de

genótipos segregantes; avanço das gerações iniciais através de autofecundações naturais; teste de desempenho agrônômico e seleção das linhagens experimentais. A etapa intermediária correspondente ao avanço das gerações de endogamia tem sido feita de forma relativamente rotineira, com a finalidade principal de desenvolver genótipos homozigóticos, os quais estando livres das combinações alélicas heterozigóticas e tendo fixado as combinações epistáticas favoráveis, aumentam a eficiência dos testes de desempenho agrônômico. Além disso, as linhagens homozigóticas podem ser avaliadas com precisão experimental superior, pois dispõem de um maior número de sementes para locais, épocas de cultivo e anos agrícolas. Por outro lado, o avanço das gerações de endogamia tem como desvantagens o aumento do número de anos de cada ciclo do programa de melhoramento e a demanda adicional de recursos humanos e financeiros. Essas limitações poderiam ser contornadas pela eficiente e eficaz escolha dos parentais e pela avaliação e seleção dos genótipos promissores logo nas gerações iniciais, de maneira que somente estes genótipos selecionados sejam avançados até originarem linhagens superiores. Essa estratégia consegue eliminar ou reduzir, já nas gerações iniciais, problemas de incompatibilidade híbrida e diferenças na capacidade de combinação que levam à ocorrência de cruzamentos inferiores.

Existem poucas informações sobre o comportamento da soja logo nas gerações iniciais. Isso ocorre pela dificuldade de realização dos cruzamentos, limitada quantidade de sementes colhidas nas plantas F_1 e que muitas vezes inviabiliza o estudo nas gerações iniciais, além do trabalho despendido com as avaliações.

Os testes das gerações iniciais (F_1 , F_2 , F_3) podem ser feitos em ambientes diversos (locais, épocas de cultivo, anos agrícolas), possibilitando a estimação da interação genótipos x ambientes e a quantificação de seus efeitos sobre a expressão fenotípica dos caracteres e sobre as estimativas de parâmetros genéticos importantes na seleção dos melhores genótipos, tais como, variância genética, herdabilidade, ganho esperado na seleção e correlação entre caracteres (Rocha & Vello, 1999).

A correlação reflete o grau de associação entre caracteres. Seu conhecimento é importante porque mostra como a seleção para um caráter influencia a expressão de outros caracteres. Nos programas de melhoramento, geralmente, além de se visar o aprimoramento de um caráter principal, busca-se também manter ou melhorar a expressão de outros caracteres simultaneamente.

Em soja, os estudos sobre correlações genotípicas, fenotípicas e de ambiente têm envolvido os caracteres coletados desde o florescimento até a maturação, destacando-se a produtividade e seus

componentes e, mais recentemente, envolvendo análises quantitativas e qualitativas de óleo e proteína. (Sharma, 1979; Cecon et al., 1993; Akhter & Sneller, 1996a,b; Taware et al., 1997; Morrison et al., 2000).

Este trabalho teve os seguintes objetivos: avaliar a variabilidade existente em parentais e cruzamentos F_2 ; estimar a interação genótipos x locais; e, estimar as correlações genotípicas, fenotípicas e ambientais entre oito caracteres avaliados no florescimento e na maturidade, visando aprimorar a seleção para produtividade.

MATERIAL E MÉTODOS

Seis genótipos de soja foram escolhidos pela produtividade de grãos, menor sensibilidade ao fotoperíodo e resistência a doenças, para uso como parentais: Hartwig: cultivar exótico, liberado nos Estados Unidos como sendo resistente a todas as raças de nematóide do cisto da soja, NCS, *Heterodera glycines*, Ichinohe (Anand, 1992); USP 1-11: linhagem pura selecionada dentro da linhagem experimental USP 1, com resistência às raças 1 e ou 3 de NCS, ao cancro-da-haste da soja (CHS, *Diaporthe phaseolorum* F. sp. *meridionalis* Morgan Jones) e à mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina* Hara), com hábito de crescimento indeterminado; Conquista: cultivar comercial, adaptado às condições ambientais do Brasil Central, com menor sensibilidade ao fotoperíodo e resistências às doenças CHS, mancha olho-de-rã e nematóide de galha (Faria et al., 1998); USP 2-16: linhagem pura selecionada dentro da linhagem experimental USP 2, com resistência às mesmas três doenças relacionadas em USP 1-11 e hábito de crescimento determinado; MT BR 123.800: linhagem experimental desenvolvida pelo Convênio EMBRAPA-CNPSo e Fundação Mato Grosso, com tolerância ao fotoperíodo e resistência às doenças NCS e moderadamente resistente ao CHS (Takeda¹); USP 5-19: linhagem pura selecionada dentro da linhagem experimental USP 5, com resistência às raças 1 e ou 3 de NCS; hábito de crescimento determinado.

As linhagens puras USP 1-11, USP 2-16 e USP 5-19 foram desenvolvidas pelo Setor de Genética Aplicada às Espécies Autógamas, do Departamento de Genética USP/ESALQ (Vello et al., 1994; Hiromoto, 1996; Miranda, 1999).

Os parentais foram cruzados em dialelo completo, sem recíprocos, originando 15 cruzamentos F_1 , os quais foram autofecundados para obtenção da geração F_2 . Plantas F_2 e parentais foram avaliadas no ano agrícola 1998/99, em dois locais do município de Piracicaba, SP, 22°42'30" de latitude Sul e 47°39'00" de longitude Oeste e 543 m de altitude. Os dois locais são bem contrastantes: ESALQ, área localizada no Departamento de Genética, com relevo ondulado, solo do tipo terra roxa estruturada, textura argilosa; Anhembi,

¹TAKEDA, C. Fundação Mato Grosso (Comunicação pessoal, 1997)

área localizada na Estação Experimental Anhembi, localizada a cerca de 60 km da sede ESALQ, com relevo plano, solo aluvial distrófico, textura médio-arenosa, com acidez e toxicidade de alumínio neutralizadas pela aplicação de calcário dolomítico em anos anteriores.

Os 21 tratamentos (seis parentais e 15 cruzamentos F_2) foram avaliados no delineamento experimental de blocos ao acaso, com seis repetições por local (ESALQ e Anhembi). A parcela foi representada por 12 covas de plantas individuais espaçadas de 0,80 m x 0,80 m, totalizando uma área útil de 7,68 m²; no total, foram pesquisadas 144 plantas F_2 de cada cruzamento. A semeadura foi realizada no mês de novembro, 09/11/98 na ESALQ e 24/11/98 em Anhembi, sendo semeadas 12 sementes por cova e após 15 dias foi realizado o desbaste para uma planta por cova (método SHDT: Single Hill Descent Thinned; Vello, 1992).

Os dados coletados de plantas individuais referem-se aos seguintes caracteres: NDF- Número de dias para o florescimento; APF- Altura da planta no florescimento, NDM- Número de dias para a maturidade; APM- Altura da planta na maturidade, VA- Valor agronômico, avaliado na maturidade, através de uma escala de notas visuais variando de 1 a 5, onde 1 corresponde a uma planta sem nenhum valor agronômico e 5 a uma planta com excelentes características agronômicas (grande número de vagens, sem acamamento, ausência de haste verde, sem debulha, sem sintomas de doenças); PG- Produtividade de grãos por planta, avaliada na maturidade; %OL - Teor de óleo nas sementes da geração $F_{3,2}$, (devido à herança materna (Miranda et al., 1984) as sementes F_3 refletem o genótipo da planta mãe F_2); a avaliação foi feita por aparelho de espectrometria de ressonância magnética nuclear (NMR) desenvolvido pela EMBRAPA-UAPDIA, São Carlos, utilizando-se uma amostra com cerca de 2,5 a 3,0 g de sementes; PO - Produtividade de óleo por planta, obtida pelo produto entre a produtividade de grãos (PG) e o teor de óleo nas sementes (%OL), dividido por 100.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas utilizando-se os programas computacionais SAS (SAS INSTITUTE INC, 1996). As análises dos caracteres foram realizadas com base na média das observações feitas nas 12 plantas individuais de cada parcela. Para o caráter valor agronômico, as análises foram realizadas com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$.

Foram realizadas análises de variância individuais e conjuntas considerando-se como fixos os efeitos de tratamentos (parentais e cruzamentos F_2), visto que os parentais foram escolhidos para atender a um objetivo específico. O efeito de locais foi considerado fixo, uma vez que ambos foram escolhidos por serem contrastantes em uma série de características (topografia, propriedades químicas e físicas do solo) O efeito da interação genótipos x locais também foi

considerado fixo; já o efeito de repetições considerado aleatório. Os coeficientes de variação e de determinação foram calculados, fornecendo informações a respeito da precisão experimental e da adequação dos dados ao modelo matemático. Assim, para todas as análises estatísticas realizadas neste trabalho, a adoção de um modelo fixo para o efeito de tratamentos (parentais e cruzamentos F_2), implica que as inferências possíveis de serem realizadas devem se limitar ao material em estudo.

As correlações entre os oito caracteres foram estimadas por local para os parentais, que constituem um grupo de genótipos homocigotos e para os 15 cruzamentos F_2 que constituem um grupo com uma média de somente 50% dos locos em homocigose. Para cada grupo, foram estimadas as correlações fenotípicas (r_F), genotípicas (r_G) e de ambiente (r_E), a partir dos componentes de variância das análises e empregando-se as expressões apresentadas por Vencovsky & Barriga (1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas análises individuais, parentais (P) e cruzamentos (F_2) apresentaram efeitos significativos para todos os caracteres nos dois locais (Tabela 1), mostrando a existência de variabilidade nos dois tipos de materiais genéticos avaliados. A comparação da média dos parentais com a média dos cruzamentos F_2 , feita através da fonte de variação (P vs F_2), geralmente foi significativa, as exceções foram observadas nos caracteres PG e %OL no local ESALQ e APM, VA, %OL em Anhembi, revelando diferenças entre as médias dos dois grupos de genótipos para a maioria dos caracteres, independentemente do ambiente. A única exceção foi para o caráter %OL, indicando que o comportamento do mesmo foi semelhante para os dois grupos de materiais genéticos. Resultados similares foram obtidos por Soldini (1998) cujo caráter %OL exibiu menor variabilidade em F_2 .

Com relação às médias, o local Anhembi foi mais favorável para os caracteres NDM e PG, apresentando plantas mais precoces e um pouco mais produtivas que aquelas cultivadas na ESALQ. Quanto aos coeficientes de variação (CVs), os valores foram baixos e semelhantes nos dois locais, denotando uma boa precisão experimental; em ambos os locais, os menores valores de CVs foram observados para NDM, NDF, %OL e VA; valores intermediários de CVs ocorreram para APF, APM, PO e PG nos dois locais, embora em Anhembi os caracteres PG e PO atingiram valores mais altos de CVs (14,48 e 15,92%); magnitudes maiores de CV para PG e PO confirmam a natureza complexa (muitos genes) dos mesmos, razão pela qual estes caracteres são muito influenciados pelo ambiente. Os valores encontrados são considerados bons para experimentos em covas, sendo próximos e até mesmo mais precisos que aqueles obtidos por Soldini (1998) em F_2 .

Os coeficientes de determinação (R^2) mostraram condições experimentais normais e significativa proporção da variação dos dados explicada pelos modelos matemáticos. Os dados correspondentes a %OL ($R^2=0,61$) na ESALQ tiveram ajuste menor, provavelmente devido aos efeitos adicionais de leitura pelo aparelho de ressonância magnética nuclear (NMR). No caso de PG ($R^2=0,67$) em Anhembi, o fato de ser um caráter quantitativo, bastante influenciado pelo ambiente e que também participa de PO ($R^2=0,64$), explica ajustes menores para esses caracteres. Resultados semelhantes foram obtidos em gerações iniciais (Soldini, 1998) e em gerações avançadas de endogamia (Laínez-Mejía, 1996).

Na análise de variância conjunta (Tabela 2), foram detectadas diferenças significativas para locais (L), tratamentos (T) e seu desdobramento em parentais (P) e cruzamentos (F_2) para a maioria dos caracteres, indicando a presença de variabilidade entre os genótipos e os ambientes. A interação tratamentos x locais (T x L) mostrou significância para todos os caracteres, indicando que os efeitos dos tratamentos e locais não explicam toda a variação encontrada nos caracteres avaliados, em consequência de comportamentos diferenciais dos tratamentos nos locais estudados. Isso mostra que os resultados são mais confiáveis e verdadeiros quando as avaliações são feitas em mais de um local; lembrando que as gerações iniciais (F_2 , F_3) possuem grande variabilidade, então, quanto menor a interferência da interação, maior será a segurança na obtenção das estimativas dos componentes de variância genética e dos

parâmetros que dependem desta estimativa. A interação T x L significativa sugere ainda a necessidade de se selecionar genótipos específicos para cada local e ou identificar aqueles que não apresentam variações através dos locais.

Desdobrando-se T x L em parentais x locais (P x L) e cruzamentos F_2 x locais (F_2 x L), verifica-se que apenas %OL foi não-significativo. A ausência de interação para este caráter também foi reportada por Soldini (1998) e Laínez-Mejía (1996). As significâncias das interações P x L e F_2 x L, na maioria dos caracteres, indica a existência de um comportamento diferencial tanto para parentais como para cruzamentos F_2 nos dois locais. Segundo Scott & Kephart (1997), uma vez identificados os melhores cruzamentos, vários locais de teste podem ser necessários para identificar os indivíduos superiores para características específicas. Interações significativas também foram obtidas por Hegstad et al. (1999) e Sood et al. (1999). Este resultado indica ainda que a seleção de cruzamentos superiores deve considerar o local específico para todos os caracteres, exceto a %OL. Para este, a seleção pode ser praticada independentemente do local, pois os mesmos exibiram adaptação aos locais de teste, ou seja, um único ambiente de avaliação pode ser adequado para identificar os melhores cruzamentos.

A comparação da média dos parentais com a média dos cruzamentos F_2 , pelo contraste (P vs F_2) x L, revela se a diferença entre as médias dos parentais e cruzamentos F_2 é consistente de um local para outro;

Tabela 1 - Análises de variância individuais em dois locais, ESALQ e Anhembi: Quadrados médios e significâncias, média geral (seis repetições), coeficientes de variação (CV) e de determinação (R^2) referentes aos caracteres número de dias para florescimento (NDF), altura da planta no florescimento (APF), número de dias para maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM), valor agrônomo (VA), produtividade de grãos (PG), porcentagem de óleo (%OL) e produtividade de óleo (PO). Soja, semeaduras em 09/11/98 (ESALQ) e 24/11/1998 (Anhembi), Piracicaba-SP.

Fonte de Variação	GL	NDF	APF	NDM	APM	VA ¹	PG	%OL	PO
ESALQ									
		dia	cm	dia	cm		g planta ⁻¹	%	g planta ⁻¹
Repetições	5	2,42ns	16,44ns	15,78**	18,35ns	0,0034ns	606,98**	6,62**	21,30**
Parentais (P)	5	518,70**	1418,06**	1605,34**	2628,47**	0,2783**	6325,16**	1,32**	313,19**
Cruzamentos (F_2)	14	119,62**	286,87**	291,93**	1030,61**	0,0679**	1748,94**	0,93**	81,69**
P vs F_2	1	197,15**	967,28**	814,50**	360,66**	0,01473*	450,15ns	0,44ns	39,19**
Resíduo	100	1,29	7,38	3,83	19,40	0,00256	117,66	0,33	5,12
Média		56,54	40,46	128,94	63,14	1,72	94,01	22,00	20,63
CV (%)		2,01	6,71	1,52	7,00	2,94	11,54	2,61	11,00
R^2		0,97	0,94	0,97	0,94	0,90	0,84	0,61	0,85
Anhembi									
Repetições	5	0,94ns	31,54**	15,04**	135,00**	0,0008ns	653,09*	18,21**	54,00**
Parentais (P)	5	345,98**	1118,94**	1140,09**	2348,36**	0,1150**	3791,58**	2,45**	134,62**
Cruzamentos (F_2)	14	66,80**	279,60**	177,43**	766,55**	0,04931**	1610,39**	1,30**	79,88**
P vs F_2	1	115,93**	152,59**	506,43**	38,87ns	0,0015ns	1447,64*	0,62ns	106,26**
Resíduo	100	0,65	6,97	4,19	24,43	0,0025	223,57	0,31	12,21
Média		50,69	45,57	119,85	65,43	1,70	103,23	21,20	21,95
CV (%)		1,59	5,79	1,71	7,55	2,97	14,48	2,63	15,92
R^2		0,98	0,93	0,95	0,90	0,83	0,67	0,80	0,64

*, **Significativo pelo teste F, a 5% e 1%, respectivamente;

¹Valor transformado para $\sqrt{x+0,5}$

neste caso, a fonte locais (L) influenciou as diferenças para a maioria dos caracteres, exceto para APM, VA e %OL. Pode-se dizer que %OL manteve o comportamento independentemente do ambiente.

O efeito de locais (L) foi significativo para a maioria dos caracteres, exceto APM, %OL e PO (Tabela 2). Isto mostra que os locais são bem variáveis para a maioria dos caracteres. Quadrados médios altamente significativos para ambientes indica considerável diferença entre os mesmos e seu efeito predominante na maioria das características (Sood et al., 1999). Efeitos significativos para locais também foram reportados por Rocha & Vello (1999) e Miranda (1999).

A magnitude dos quadrados médios de locais, foi sempre maior que os de cruzamentos (F_2) e da interação $F_2 \times L$. Isto confirma as observações feitas por Romagosa & Fox (1993) de que, a proporção da soma de quadrados devido à variância entre locais variou de 80 a 90% em relação à soma de quadrados da variação total; os autores também identificaram que a interação $G \times L$ foi freqüentemente maior (20%) que o efeito principal de genótipos (10%); eles concluíram que, como os genótipos tendem a ser mais divergentes, assim como os locais, a interação $G \times L$ tende a aumentar facilmente até 40 a 60% da variação total. A correta escolha dos ambientes de avaliação permite reduzir a magnitude das interações e, assim, aumenta a herdabilidade, o que por sua vez, tem influência na pressão de seleção e ou no ganho genético.

Os CVs obtidos na análise de conjunta de variância (Tabela 2) mostraram, a exemplo das análises individuais, menores valores para NDM, NDF, %OL e VA; valores intermediários para APF e APM; e, maiores valores para PO e PG. Isto implica em maior e menor estabilidade para NDM e PG, respectivamente. Tal estabilidade está intimamente relacionada com o tipo de

herança genética apresentado por tais caracteres, sendo relativamente simples para NDM e %OL e bastante complexa para PG e PO. Este último caráter, depende dos caracteres %OL e PG, sendo mais influenciado por PG (Laínez-Mejía, 1996). Os coeficientes de determinação (R^2) variaram de 0,75 a 0,98, sendo superiores às análises individuais, novamente, os caracteres PG, %OL e POL mantiveram-se com os menores valores na análise conjunta.

Embora tenha sido possível acrescentar níveis de significância estatística às estimativas de correlações fenotípicas e genotípicas (Tabelas 3 e 4), existe uma tendência entre os melhoristas de plantas de se valorizar mais o sinal (positivo ou negativo) e a magnitude dos valores na interpretação aplicada das correlações. Nesse sentido, um critério comum é valorizar as estimativas abaixo de -0,5 e acima de 0,5.

As correlações genotípicas (Tabelas 3 e 4) tiveram o mesmo sinal e foram maiores que as fenotípicas e ambas, geralmente, superaram as de ambiente, indicando que a expressão dos caracteres deve ser menos influenciada pelas condições ambientais. No entanto, as correlações entre NDM e APM, %OL e PO, para F_2 nos dois locais e entre %OL e PO para parentais na ESALQ, bem como a correlação entre APM e APF para parentais nos dois locais, mostraram que a ação dos locais atuou no mesmo sentido na expressão desses caracteres e foi relativamente mais importante que a ação dos genótipos na associação entre eles.

Correlações genotípicas com sinal igual e valores maiores que as fenotípicas têm sido comuns em soja (Moro et al., 1992; Taware et al., 1997). Embora sendo os parentais homozigóticos e os F_2 heterozigóticos, as correlações genotípicas e fenotípicas foram bastante concordantes nos dois grupos.

Tabela 2 - Análise de variância conjunta: Quadrados médios e significâncias, média geral (seis repetições), coeficientes de variação (CV) e de determinação (R^2) referentes aos caracteres número de dias para florescimento (NDF), altura da planta no florescimento (APF), número de dias para maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM), valor agrônômico (VA), produtividade de grãos (PG), porcentagem de óleo (%OL) e produtividade de óleo (PO). Soja, semeaduras em 09/11/98 (ESALQ) e 24/11/1998 (Anhembí), Piracicaba-SP.

Fonte de Variação	GL	NDF dia	APF cm	NDM dia	APM cm	VA ¹	PG g planta ⁻¹	%OL %	PO g planta ⁻¹
Locais (L)	1	2159,36**	1646,98**	5211,18**	330,64ns	0,0419**	5335,48*	40,58ns	109,05ns
Repetições (R)/L	10	1,69ns	24,00**	15,41**	76,67**	0,0022	630,03*	12,41**	37,64**
Parentais (P)	5	852,97**	2505,48**	2714,70**	4916,79**	0,3483*	8426,30**	2,70**	367,86**
Cruzamentos (F_2)	14	17,30**	550,18**	452,59**	1711,65**	0,0962**	2946,83**	1,91**	140,15**
P vs F_2	1	307,72**	9441,11**	1303,20**	318,16**	0,0129*	141,64ns	1,05ns	8,19ns
P x L	5	11,71**	31,53**	30,74**	60,05*	0,0450**	1690,45**	1,07**	79,95**
$F_2 \times L$	14	7,12**	17,81**	16,77**	85,52**	0,0220**	394,51**	0,33ns	21,43**
(P vs F_2) x L	1	5,36*	175,75**	18,16*	81,37ns	0,0034ns	1756,15**	0,007ns	137,26**
Resíduo	200	0,97	7,18	4,01	21,92	0,0026	170,61	0,32	8,67
Média		53,61	43,02	124,39	64,28	1,71	98,62	21,60	21,29
CV (%)		1,83	6,23	1,61	7,28	2,96	13,24	2,62	13,83
R^2		0,98	0,94	0,97	0,92	0,88	0,77	0,77	0,75

*, **Significativo pelo teste F, a 5% e 1%, respectivamente;

¹Valor transformado para $\sqrt{x+0,5}$

Considerando os dois locais e apenas os cruzamentos F_2 , o caráter PG mostrou correlações fenotípicas e genotípicas positivas e altas com os demais caracteres, exceto %OL. Zimback (1992) também obteve correlação negativa e baixa entre PG e %OL, tanto para a geração F_2 como para parentais. Pode-se ainda destacar as correlações genotípicas positivas e altas de PG com VA e de PG com PO. Pushpendra (1990) cita que a seleção visual para produtividade tem se mostrado eficiente em gerações iniciais, comprovando o fato de que a maior capacidade produtiva atribui maiores notas de VA. Uma correlação positiva e alta entre PG e PO já era esperada, pois o caráter PO é função direta de PG (Laínez-Mejía, 1996). Neste sentido, Soldini (1998) também verificou que a contribuição para a correlação em PO é dada principalmente por PG, como consequência da baixa variabilidade genética existente para %OL.

Os caracteres NDF e APF apresentaram correlações fenotípicas e genotípicas positivas e altas entre a maioria dos caracteres, com exceção das correlações com %OL que foram negativas (Tabelas 3 e 4). Os caracteres relacionados com o desenvolvimento da planta na maturidade (NDM e APM)

apresentaram correlações fenotípicas e genotípicas positivas e altas com a maioria dos caracteres, exceto entre NDM e %OL para parentais e F_2 (ESALQ e Anhembi) e entre APM e %OL para parentais em Anhembi. Pode-se ainda destacar as correlações altas e positivas de NDM, APM com PG; quanto maior o ciclo da planta, maior seu crescimento, aumentando o número de internódios produtivos, levando estas correlações positivas. Esses resultados sugerem que nesse grupo de genótipos, os caracteres avaliados no florescimento e na maturidade, em época normal de cultivo, parecem ter grande importância no processo de seleção. Outros trabalhos também destacam a importância destes caracteres. Cecon et al. (1993) obtiveram correlação genotípica positiva e significativa entre NDM e APM ($r_G=0,704$), enquanto que Morrison et al., (2000) encontraram correlação fenotípica positiva e baixa (0,037).

O caráter VA também apresentou correlações fenotípicas e genotípicas positivas e altas para a maioria dos caracteres, com exceção de %OL, com mudanças tanto na magnitude das correlações como nos sinais, variando de acordo com o local e o tratamento. Na ESALQ, as correlações fenotípicas e genotípicas foram

Tabela 3 - Correlações fenotípicas (r_F), genotípicas (r_G) e ambientais (r_E) entre os caracteres número de dias para florescimento (NDF), altura da planta no florescimento (APF), número de dias para maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM), valor agrônomo (VA), produtividade de grãos (PG), porcentagem de óleo (%OL) e produtividade de óleo (PO), para 15 cruzamentos dialélicos em F_2 (acima da diagonal) e seis parentais (abaixo da diagonal). Soja, semeadura em 09/11/98. Local: ESALQ, Piracicaba-SP.

Caracter		NDF	APF	NDM	APM	VA ¹	PG	%OL	PO
NDF	r_F		0,933**	0,863**	0,423	0,581*	0,711**	-0,610*	0,645**
	r_G		0,950	0,884	0,427	0,570	0,742	-0,715	0,680
	r_E		0,330	0,590	0,269	0,225	0,191	0,011	0,200
APF	r_F	0,965**		0,904**	0,533*	0,644**	0,803**	-0,500	0,747**
	r_G	0,970		0,930	0,555	0,654	0,843	-0,545	0,790
	r_E	-0,107		0,300	0,543	0,392	0,382	0,001	0,375
NDM	r_F	0,973**	0,911*		0,243	0,465	0,630*	-0,528*	0,563*
	r_G	0,973	0,913		0,261	0,460	0,653	-0,620	0,590
	r_E	0,170	0,064		0,341	0,229	0,184	-0,003	0,180
APM	r_F	0,420	0,517	0,322		0,887**	0,801**	0,070	0,820**
	r_G	0,453	0,546	0,360		0,914	0,854	0,173	0,877
	r_E	-0,100	0,619	0,152		0,548	0,500	0,047	0,498
VA ¹	r_F	0,505	0,600	0,349	0,939**		0,913**	-0,011	0,917**
	r_G	0,540	0,631	0,388	0,948		0,950	0,072	0,957
	r_E	0,090	0,135	-0,027	0,065		0,609	0,015	0,604
PG	r_F	0,569	0,643	0,423	0,851*	0,950**		-0,077	0,994**
	r_G	0,591	0,669	0,445	0,891	0,973		-0,008	0,996
	r_E	-0,051	0,221	0,008	0,250	0,160		-0,008	0,980
%OL	r_F	-0,251	-0,360	-0,305	0,272	0,260	0,090		0,032
	r_G	-0,257	-0,362	-0,310	0,320	0,288	0,010		0,083
	r_E	0,021	0,090	0,060	0,060	-0,051	0,017		0,163
PO	r_F	0,550	0,613	0,403	0,860*	0,955**	0,957**	0,165	
	r_G	0,574	0,642	0,430	0,902	0,983	0,998	0,165	
	r_E	-0,046	0,235	0,020	0,260	0,151	0,970	0,245	

*, **Significativo pelo teste F, a 5% e 1%, respectivamente;

¹Valor transformado para $\sqrt{x+0,5}$

positivas e baixas e em Anhembi ocorreu o inverso. O caráter %OL apresentou correlações fenotípicas e genotípicas negativas e altas para a maioria dos caracteres com exceção da APM (F_2 na ESALQ e Anhembi) e APM, VA, PG e PO (parentais na ESALQ). Com relação ao caráter PO, as correlações fenotípicas e genotípicas foram positivas e altas para todos os caracteres nos dois locais, exceto para %OL em Anhembi.

Tanto nos parentais quanto nos cruzamentos F_2 , há casos de diferenças de sinal nas correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente (Tabelas 3 e 4). Quando correlações de ambiente apresentam sinais contrários aos das correlações fenotípicas e genotípicas, sugere que a ação dos locais foi em sinal contrário ao da ação dos genótipos nesses caracteres. Na prática, isso é muito importante porque, dependendo da magnitude da ação do ambiente pode comprometer a eficiência da seleção. Falconer & Mackay (1996) citam ainda que a diferença de sinal entre as correlações genotípicas e de ambiente pode ser atribuída às causas de variação herdável e de ambiente que afetam dois caracteres através de diferentes mecanismos fisiológicos.

Uma limitação apontada pela correlação entre NDM e PG é a dificuldade de reunir em um mesmo genótipo os genes favoráveis para produtividade e para precocidade. Isso se deve às causas genéticas das correlações entre caracteres: ligação genética entre os genes que controlam dois caracteres, difícil de ser superada (quebrada) quando muito forte ($c \leq 10\%$ de recombinação), podendo, neste caso, até impedir o aparecimento de recombinantes desejáveis nas gerações filiais; pleiotropia, ou seja, o(s) mesmo(s) genes controlam os dois caracteres; neste caso, a possibilidade de obtenção de recombinantes fica restrita a ocorrência de mutações espontâneas e ou induzidas. Quando se trata de ligação, os valores da correlação podem variar de $-1,0$ a $1,0$, dependendo da distância genética entre os genes. Já no caso de pleiotropia, a correlação é muito alta, próxima de $-1,0$ ou de $1,0$ para um gene. Portanto, correlações no intervalo de $-1,0 < r < -0,5$ e $0,5 < r < 1,0$ são difíceis de serem suplantadas, levando à classificação em caracteres associados negativa e positivamente, respectivamente.

Os demais caracteres relacionados ao florescimento e à maturidade, incluindo-se VA,

Tabela 4 - Correlações fenotípicas (r_F), genotípicas (r_G) e ambientais (r_E) entre os caracteres número de dias para florescimento (NDF), altura da planta no florescimento (APF), número de dias para maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM), valor agrônomo (VA), produtividade de grãos (PG), porcentagem de óleo (%OL) e produtividade de óleo (PO), para 15 cruzamentos dialélicos em F_2 (acima da diagonal) e seis parentais (abaixo da diagonal). Soja, semeadura em 24/11/98. Local: Anhembi, Piracicaba-SP.

Caracter	NDF	APF	NDM	APM	VA ¹	PG	%OL	PO
NDF	r_F	0,970**	0,872**	0,403	0,943**	0,760**	-0,706**	0,676**
	r_G	0,978	0,879	0,411	0,962	0,791	-0,763	0,703
	r_E	0,492	0,543	0,336	0,383	0,271	-0,142	0,230
APF	r_F	0,892*	0,858**	0,519*	0,945**	0,757**	-0,609*	0,689**
	r_G	0,897	0,874	0,522	0,966	0,783	-0,661	0,713
	r_E	0,146	0,401	0,584	0,374	0,426	-0,057	0,399
NDM	r_F	0,972**	0,884*	0,227	0,859**	0,588*	-0,710**	0,503
	r_G	0,972	0,889	0,240	0,879	0,638	-0,741	0,553
	r_E	0,250	0,123	0,442	0,535	0,223	-0,374	0,147
APM	r_F	0,374	0,584	0,251	0,596*	0,707**	0,201	0,757**
	r_G	0,396	0,590	0,270	0,607	0,727	0,236	0,783
	r_E	0,131	0,653	0,104	0,523	0,495	-0,132	0,462
VA ¹	r_F	0,863*	0,939**	0,776	0,695	0,867**	-0,564*	0,809**
	r_G	0,875	0,950	0,790	0,702	0,904	-0,593	0,846
	r_E	-0,025	0,077	0,252	0,070	0,509	-0,206	0,459
PG	r_F	0,973**	0,832*	0,897*	0,423	0,873*	-0,231	0,998**
	r_G	0,984	0,841	0,900	0,480	0,896	-0,254	0,989
	r_E	0,027	0,250	-0,107	0,215	0,255	0,109	0,982
%OL	r_F	-0,856*	-0,896*	-0,839*	-0,347	-0,860*	-0,845*	-0,089
	r_G	-0,846	-0,908	-0,840	-0,303	-0,845	-0,835	-0,115
	r_E	-0,025	-0,051	-0,374	-0,055	-0,181	0,258	0,275
PO	r_F	0,965	0,812*	0,881*	0,440	0,865*	0,997**	-0,810
	r_G	0,975	0,820	0,880	0,503	0,888	0,997	-0,793
	r_E	0,010	0,225	-0,171	0,200	0,203	0,979	0,427

*, **Significativo pelo teste F, a 5% e 1%, respectivamente;

¹Valor transformado para $\sqrt{x+0,5}$

mostraram-se importantes para o aumento da produtividade. Portanto, é possível obter ganhos genéticos para produtividade mesmo em populações com genes de resistência ao nematóide de cisto da soja.

CONCLUSÕES

Parentais e F_2 apresentaram variabilidade para todos os caracteres, tanto nas análises individual como conjunta. Os dois locais foram bons para a expressão do potencial genético dos genótipos avaliados; no entanto, o local Anhembi foi mais favorável para a PG. A interação genótipos x locais (G x L) mostrou-se um importante componente da variação fenotípica, com exceção do caráter %OL (F_2 x L). As correlações genotípicas foram geralmente maiores que as fenotípicas e de ambiente nos dois locais. A magnitude das correlações fenotípica e genotípica, mostra que o fenótipo refletiu satisfatoriamente o genótipo. Os caracteres relacionados ao florescimento e à maturidade mostraram-se importantes para o melhoramento da produtividade, com destaque para valor agrônomico, existindo evidências de dificuldades em obter novos genótipos produtivos e precoces.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES e FAPESP, pelo apoio financeiro às diferentes fases desta pesquisa e ou pelas bolsas de estudo concedidas. Ao convênio EMBRAPA-CNPSo e FUNDAÇÃO MT pelo fornecimento de sementes da linhagem MTBR 123.800 utilizada nesta pesquisa. Ao convênio EMBRAPA-CNPDI e Gil Equipamentos Especiais pela cessão do aparelho de Ressonância Nuclear Magnética para a realização das análises de teor de óleo. Aos funcionários A. R. Cogo, C. A. Didoné, M. C. Nekatschalow, pelo auxílio na condução dos experimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKHTER, M.; SNELLER, C.H. Yield and yield components of early maturing soybean genotypes in the Mid-South. **Crop Science**, v.36, p.877-882, 1996a.
- AKHTER, M.; SNELLER, C.H. Genotype x planting date interaction and selection of early maturing soybean genotypes. **Crop Science**, v.36, p.883-889, 1996b.
- ANAND, S.C. Registration of *Hartwig* soybean. **Crop Science**, v.32, p.1069-1070, 1992.
- CECON, P.R.; MORAIS, R.A.; SEDIYAMA, C.S. Obtenção da herdabilidade e das correlações genotípicas, fenotípicas e de ambiente nas gerações F_2 e F_3 em cruzamentos fatoriais em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.1399-1406, 1993.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. Edinburgh: Longman, 1996. 464p.
- FARIA, L.C.; ROLIM, R.B.; SOUZA, P.I.M.; ARANTES, N.E. MG-BR-46 (Conquista) – Extensão de indicação de cultivar de soja para o estado de Goiás e Distrito Federal. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 20., Londrina, 1998.; **Resumos**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1998. p.300-309. (Documentos, 121).

- HEGSTAD, J.M.; BOLLERO, G.; NICKELL, C.D. Potential using plant row yield trials to predict soybean yield. **Crop Science**, v.39, p.1671-1675, 1999.
- HIROMOTO, D.M. Seleção de genótipos de soja para performance agrônoma e resistência a *Heterodera glycines* Ichinohe e *Diaporthe phaseolorum* f.sp. *meridionalis* Morgan-Jones. Piracicaba, 1996. 84p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- LAÍNEZ-MEJÍA. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de progênies de soja com ênfase na produtividade de grãos e óleo. Piracicaba, 1996. 145p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MIRANDA, F.T.S. Interação genótipos x ambientes em linhagens de soja selecionadas para resistência ao nematóide de cisto. Piracicaba, 1999. 141p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MIRANDA, M.A.C.; de SUASSUNA FILHO, J.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; TISSELI FILHO, O.; BRAGA, N.R. Efeito maternal e de genótipo sobre o teor de óleo e tamanho das sementes em sementes F_1 de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., Campinas, 1984. **Anais**. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1984. p.308-317.
- MORO, G.L.; REIS, M.S.; SEDIYAMA, C.S.; OLIVEIRA, A.B. Correlação entre alguns caracteres agrônomicos em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Ceres**, v.39, p.225-232, 1992.
- MORRISON, M.J.; VOLDENG, H.D.; COBER, E.R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Agronomy Journal**, v.92, p.780-784, 2000.
- PUSHPENDRA, R.H.H. Dry matter yield as an effective selection criterion in soybean. **Tropical Agriculture**, v.67, p.57-60, 1990.
- ROCHA, M.M.; VELLO, N.A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, v.58, p.69-81, 1999.
- ROMAGOSA, I.; FOX, P. N. Genotype x environment interactions and adaptation. In: HAYWARD, M.D.; BOSEMARK, N.O.; ROMAGOSA, I. **Plant breeding: principles and prospects**. London: Chapman & Hall, 1993. cap.20, p.375-390.
- SAS Institute. **SAS user's guide: statistics**, version 6.11. ed. Cary: Statistical Analysis System Institute, 1996. 956p.
- SCOTT, R.A.; KEPHART, K.D. Selection for yield, protein, and oil in soybean crosses between adapted and introduced parents. **Field Crops Research**, v.49, p.177-185, 1997.
- SHARMA, S.K. Note on path-coefficient analysis in the F_2 populations of soybean grown at two locations. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.49, p.820-821, 1979.
- SOLDINI, D.O. Potencial genético de cruzamentos dialélicos parciais de soja com ênfase nas produtividades de grãos e óleo. Piracicaba, 1998. 78p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SOOD, O.P.; SOOD, V.K.; ANAND, D.; KALIA, N.R. Phenotypic stability for yield and maturity in soybean (*Glycine max*) in mid-hills of Himachal Pradesh. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.69, p.536-537, 1999.
- TAWARE, S.P.; HALVANKAR, G.B.; RAUT, V.M.; PATIL, V.P. Variability, correlation and path analysis in soybean hybrids. **Soybean Genetics Newsletter**, v.24, p.96-98, 1997.
- VELLO, N.A. Métodos de melhoramento da soja. In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA E PRODUTIVIDADE DA SOJA, 4., Piracicaba, 1991. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1992. p.41-59.
- VELLO, N.A.; HIROMOTO, D.M. FERREIRA, B.M.; BOOTAN, A.J.; KIIHL, R.A.S. USP 01 A USP 11: Novas linhagens de soja resistentes ao nematóide de cisto, cancro da haste, mancha olho-de-rã. **Revista Brasileira de Genética**, v.17, p.362, 1994.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica aplicada no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Melhoramento, 1992. 409p.
- ZIMBACK, L. Cruzamento em cadeia entre genótipos adaptados e exóticos de soja com ênfase na produção de óleo. Piracicaba, 1992. 163p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Recebido em 08.02.01