

Herdabilidade e correlações em plantas F_2 de soja cultivadas em diferentes condições ambientais

Antonio Carlos Baião de Oliveira^{1*}, José Marcelo Soriano Viana², Cosme Damião Cruz² e Carlos Siqueyuki Sedyama³

¹EPAMIG, C.P. 216, 36.571-000, Viçosa-Minas Gerais, Brazil. ²Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, 36.571-000, Viçosa-Minas Gerais, Brazil. ³Reitoria, Universidade Federal de Viçosa, 36.571-000, Viçosa-Minas Gerais, Brazil. *Author for correspondence. e-mail: abaiao@mail.ufv.br

RESUMO. Dois experimentos foram montados em Viçosa-MG, objetivando estimar as herdabilidades no sentido amplo e as correlações de alguns caracteres de interesse agrônomo em plantas F_2 de soja, oriundas do cruzamento entre uma linhagem TN (triplo nula - lipoxigenases ausentes) e o cultivar IAC-12. As maiores herdabilidades foram observadas para os caracteres relacionados com o crescimento vegetativo e o peso das sementes por planta, indicando que estes foram menos sensíveis aos ambientes e, portanto, de mais fácil seleção, a partir das primeiras gerações segregantes. O número de vagens e o número de sementes por planta apresentaram baixos coeficientes de herdabilidade, o que diminuiu a eficiência de sua seleção com base no indivíduo. Correlações genotípicas positivas e elevadas foram observadas entre todos os pares de caracteres avaliados no campo, com os ganhos indiretos sendo favorecidos pela seleção de caracteres de alta herdabilidade. Algumas correlações genotípicas, estimadas na casa de vegetação, foram de baixas magnitudes.

Palavras-chave: soja, herdabilidade, correlações.

ABSTRACT. Heritability and correlation in F_2 soybean plants cultivated under different environmental conditions. Two experiments were carried out in Viçosa, MG, with the purpose of estimating the broad sense heritabilities and the correlations of some characters of agronomic interest in F_2 soybean (*Glycine max* (L) Merrill) plants from the crossing of strain TN (null triple - absent lipoxxygenases) and cultivar IAC-12. The highest heritability was observed for the characters related to the vegetative growth and seed weight per plant indicating that they were less sensitive to the environment and therefore of easier selection starting from the first segregating generations. Number of pods and number of seeds per plant presented low heritability coefficients thus decreasing the efficiency of individual-based selection. High and positive genotypic correlations were observed between all the pairs of characters evaluated on field, indicating the possibility of obtaining indirect gains through the selection of high heritability characters. Some genotypic correlations, estimated in greenhouse, were of low value.

Key words: soybean, heritability, correlations.

As estimativas de herdabilidade e de correlação entre caracteres agrônômicos são de extrema utilidade nos processos de seleção, em programas de melhoramento de qualquer espécie (Anand e Torrie, 1963).

A herdabilidade de um caráter métrico é uma de suas mais importantes propriedades, pois expressa o grau de correspondência entre o valor fenotípico e o genotípico (Falconer, 1987). Faz parte da maioria das expressões empregadas no melhoramento genético,

principalmente na predição de ganhos genéticos decorrentes de seleção (Johnson e Bernard, 1967). A estimativa de herdabilidade refere-se a uma característica de uma população e é específica para o ambiente no qual os genótipos foram estudados. Adicionalmente, podem-se estimar herdabilidades diferentes para serem usadas em cálculos de predição, variando a unidade de seleção.

Muitos caracteres de importância agrônoma apresentam baixas herdabilidades ou são de difícil

medição ou identificação, podendo a eficiência de sua seleção ser aumentada pelo uso de uma característica auxiliar correlacionada com a característica principal. É possível alcançar melhores resultados na seleção de uma característica de baixa herdabilidade, selecionando-se indiretamente em outros caracteres, de maiores herdabilidades, mas que apresentam alta correlação com a característica de interesse.

O sabor e o odor desagradáveis, aos povos ocidentais, característicos dos produtos de soja, são resultantes, em grande parte, da associação de compostos carbonílicos de cadeia curta às proteínas. Esses compostos são provenientes da ação catalítica das isozimas lipoxigenases (LOX 1, 2 e 3) sobre ácidos graxos poliinsaturados, como os ácidos linoléico e linolênico, encontrados nos grãos de soja (Axelrod, 1974). A obtenção de genótipos de soja com ausência das três isozimas lipoxigenases, com hilo e tegumentos claros, resistentes à doenças, com período juvenil longo e possuindo características agrônomicas importantes é um dos objetivos do programa de melhoramento de soja da Universidade Federal de Viçosa, do qual fez parte este trabalho. Dessa forma, na expectativa de contribuir para o referido programa, o presente estudo foi realizado com o objetivo de estimar as herdabilidades e as correlações, em relação a alguns caracteres agrônomicos de plantas F_2 de soja cultivadas em diferentes condições ambientais.

Material e métodos

As plantas F_2 , utilizadas neste trabalho, foram obtidas de três plantas F_1 , oriundas do cruzamento entre uma linhagem TN (triplo-nula) e o cultivar IAC-12. As linhagens TN do banco de germoplasma da UFV foram obtidas do cruzamento das linhagens irmãs UFV 91-263, UFV 91-401 e UFV 91-717 com uma linhagem sem as três isozimas lipoxigenases das sementes (LOX 1, 2 e 3; triplo-nula). Essas três linhagens irmãs caracterizam-se pela ausência de LOX 2 e 3 e são provenientes do cruzamento entre CR3 (linhagem sem LOX 3, derivada do cruzamento entre Ichigowase (introdução japonesa) e FT-Cristalina) e PI 86023 (LOX 2 ausente), seguido de seleção para ausência de LOX 2 e 3 na geração F_2 e de autofecundação até a geração F_6 . A linhagem TN utilizada neste trabalho é de ciclo curto, hábito de crescimento determinado, flor roxa e pubescência cinza; não possui as três isozimas lipoxigenases em suas sementes, é resistente ao cancro da haste e possui período juvenil curto. IAC-12 originou-se do cruzamento entre Paraná e a linhagem IAC 73-231; apresenta ciclo médio, hábito

de crescimento determinado, período juvenil longo, flor branca, pubescência marrom, semente amarela com hilo marrom-claro; é resistente ao cancro da haste e possui as três isozimas lipoxigenases da semente.

Sementes F_2 , provenientes de duas plantas F_1 , e sementes dos dois progenitores foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, na proporção de 6 g/kg de sementes, e semeadas no campo, em área experimental da Universidade Federal de Viçosa, no dia 1/6/1994. Viçosa, MG, está localizada a 650 m de altitude, 42°51' de longitude e 20°45'S de latitude. Os dados de temperaturas e fotoperíodos, durante o período de condução do ensaio, encontram-se na Tabela 1. O plantio foi realizado em fileiras de 10 m de comprimento, espaçadas de 0,80 m, com densidade de 10 sementes por metro, sendo a geração F_2 e os dois progenitores dispostos aleatoriamente ao longo das fileiras. Foi plantada uma fileira de bordadura, utilizando-se o progenitor IAC-12. A adubação foi fornecida no sulco de plantio, à base de 90 kg/ha de P_2O_5 e 60 kg/ha de K_2O , e o controle de pragas e de ervas daninhas foi realizado sempre que necessário. Efetuou-se irrigação suplementar, por aspersão, de acordo com as necessidades da cultura.

Tabela 1. Fotoperíodo do décimo quinto dia e temperaturas máximas e mínimas (médias) e médias dos meses de junho a dezembro de 1994, em Viçosa, MG

Mês	Fotoperíodo (horas)	Temperatura (°C)		
		Máxima	Mínima	Média
Junho	10.8	23.82	10.74	17.28
Julho	10.9	23.82	10.12	16.97
Agosto	11.3	24.75	9.75	17.25
Setembro	11.9	27.11	11.91	19.51
Outubro	12.5	28.23	15.85	22.04
Novembro	13.0	27.58	17.10	22.34
Dezembro	13.2	28.63	18.25	23.44

Sementes F_2 provenientes de uma única planta F_1 foram inoculadas como descrito acima, e semeadas juntamente com os progenitores, diretamente em vasos com capacidade para três litros de substrato, composto de 60% de solo, 20% de areia lavada e 20% de esterco de gado, bem curtido, colocando-se três sementes por vaso. A semeadura foi feita no dia 6/6/1994, em casa de vegetação, e as plantas foram cultivadas em fotoperíodo natural (Tabela 1), mas com controle da temperatura, mantendo-se a mínima entre 15°C e 18°C e a máxima entre 28°C e 32°C. A irrigação foi feita diretamente nos vasos, com água corrente de uma mangueira, fornecendo-se a mesma quantidade de água para todas as plantas.

As plantas foram etiquetadas e avaliadas individualmente em relação aos seguintes caracteres:

número de dias para florescimento - número de dias da emergência ao aparecimento da primeira flor em qualquer parte da planta; número de nós no florescimento - número de nós na haste principal no dia da abertura da primeira flor, exceto o nó cotiledonar; altura da planta no florescimento - distância, em centímetros, do nível do solo à extremidade superior da haste principal, no dia da abertura da primeira flor; número de vagens, com sementes, por planta; número de sementes por planta; e peso, em gramas, de sementes por planta. No campo, foram avaliadas 36 plantas IAC-12, 40 TN e 550 F₂, enquanto na casa de vegetação, avaliaram-se 12 plantas IAC-12, 18 TN e 389 F₂.

A variância fenotípica ($\hat{\sigma}_p^2$) foi estimada diretamente, usando-se os valores fenotípicos obtidos das plantas F₂, enquanto a variância genotípica ($\hat{\sigma}_G^2$) e a de ambiente ($\hat{\sigma}_E^2$) foram estimadas como a seguir:

$$\hat{\sigma}_G^2 = \hat{\sigma}_p^2 - \hat{\sigma}_E^2$$

e

$$\hat{\sigma}_E^2 = \frac{n_1 \hat{\sigma}_{P(TN)}^2 + n_2 \hat{\sigma}_{P(IAC-12)}^2}{n_1 + n_2}$$

(Wricke e Weber, 1986),

em que n_1 e n_2 são os números de graus de liberdade associados à variância do progenitor feminino (TN) e à do progenitor masculino (IAC-12), respectivamente.

A covariância fenotípica ($\hat{COV}_p$) foi estimada, utilizando-se os valores fenotípicos dos caracteres X_1 e X_2 , mensurados nas populações F₂. A covariância genotípica ($\hat{COV}_G$) e a de ambiente ($\hat{COV}_E$) foram estimadas pelas seguintes expressões:

$$\hat{COV}_G(X_1, X_2) = \hat{COV}_p(X_1, X_2) - \hat{COV}_E(X_1, X_2)$$

e

$$\hat{COV}_E(X_1, X_2) = \frac{n_1 \hat{COV}_{p(X_1, X_2)_{TN}} + n_2 \hat{COV}_{p(X_1, X_2)_{IAC-12}}}{n_1 + n_2}$$

As herdabilidades no sentido amplo ($\hat{h}_a^2$) foram estimadas segundo a expressão abaixo:

$$\hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_G^2}{\hat{\sigma}_p^2}$$

Os coeficientes de correlação fenotípica ($\hat{r}_p$), genotípica ($\hat{r}_G$) e de ambiente ($\hat{r}_E$) entre pares de

caracteres foram estimados da seguinte forma (Falconer, 1987):

$$\hat{r}_{p_{X_1, X_2}} = \frac{\hat{COV}_p(X_1, X_2)}{\sqrt{\hat{\sigma}_{p_{X_1}}^2 \cdot \hat{\sigma}_{p_{X_2}}^2}};$$

$$\hat{r}_{G_{X_1, X_2}} = \frac{\hat{COV}_G(X_1, X_2)}{\sqrt{\hat{\sigma}_{G_{X_1}}^2 \cdot \hat{\sigma}_{G_{X_2}}^2}}$$

e

$$\hat{r}_{E_{X_1, X_2}} = \frac{\hat{COV}_E(X_1, X_2)}{\sqrt{\hat{\sigma}_{E_{X_1}}^2 \cdot \hat{\sigma}_{E_{X_2}}^2}}.$$

Resultados e discussão

No campo, as estimativas de herdabilidades no sentido amplo, obtidas para os caracteres envolvidos com o crescimento vegetativo da planta, ou seja, o número de dias da emergência ao florescimento, o número de nós e altura da planta no florescimento, foram altas e relativamente maiores do que aquelas obtidas para os caracteres relacionados com a produção, isto é, o número de vagens e de sementes por planta e a própria produção, representada pelo peso de sementes por planta (Tabela 2). Tais resultados estão de acordo com aqueles conseguidos por outros pesquisadores, como Anand e Torrie (1963); Oliveira (1985); Moro (1990). Os baixos valores de herdabilidades encontrados para números de vagens e de sementes por planta, para as plantas F₂ cultivadas no campo, indicam alta influência de fatores ambientais sobre esses caracteres.

Tabela 2. Estimativas de herdabilidade no sentido amplo, para seis caracteres em plantas F₂ de soja, oriundas do cruzamento TN x 'IAC-12', cultivadas em casa de vegetação e no campo, no inverno. Viçosa-MG

Caráter ¹	Casa de vegetação	Campo
DPF	0,78	0,99
NNF	0,45	0,90
APF	0,88	0,95
NVP	0,57	0,11
NSP	0,43	0,19
PSP	0,77	0,64

¹DPF= número de dias da emergência ao florescimento, NNF= número de nós no florescimento, APF= altura de planta no florescimento, NVP= número de vagens por planta, NSP= número de sementes por planta e PSP= peso de sementes por planta

Na casa de vegetação, as maiores estimativas de herdabilidade foram obtidas para os caracteres altura de planta na floração, número de dias da emergência ao florescimento e peso de sementes por planta. Este é normalmente um caráter muito influenciado pelo ambiente e, por isso, apresenta, na maioria das vezes, valores baixos de herdabilidade, mas, no ambiente de casa de vegetação, essa estimativa foi relativamente elevada, possivelmente, em razão de um controle

mais efetivo das condições nutricionais das plantas e da irrigação.

Os caracteres vegetativos, avaliados no campo, apresentaram valores de herdabilidades superiores àqueles obtidos para os mesmos caracteres mensurados na casa de vegetação. O contrário ocorreu para os caracteres relacionados com a produção (Tabela 2). Estes fatos podem ter ocorrido em função das diferentes condições de luminosidade dentro da casa de vegetação, o que afetou diferentemente o crescimento vegetativo das plantas, nesse ambiente, ocasionando estiolamento de algumas plantas e menor crescimento de outras. A diferença nos tamanhos das amostras analisadas nos dois ambientes, provavelmente, contribuiu para as discrepâncias dos valores de herdabilidades obtidos.

As diferentes estimativas de herdabilidade, para os mesmos caracteres, em duas amostras de uma mesma população F_2 , uma cultivada no campo e outra em casa de vegetação, indicam que as plantas F_2 responderam diferentemente às variações de ambiente. Segundo Falconer (1987), a herdabilidade de um caráter refere-se a uma população particular, sob dada condição de ambiente, e os valores estabelecidos em algumas populações, sob outras circunstâncias, serão mais ou menos os mesmos, se a estrutura da população e as condições ambientais forem aproximadamente iguais.

As elevadas estimativas de herdabilidade obtidas para os caracteres número de dias da emergência ao florescimento, altura de planta no florescimento e peso de sementes por planta nos dois diferentes ambientes, e para número de nós no florescimento, nas plantas F_2 cultivadas no campo, são indicativos de que se pode fazer seleção já nas primeiras gerações segregantes para esses caracteres, com possibilidades de ganhos. Conforme Anand e Torrie (1963), os caracteres influenciados por poucos genes normalmente apresentam alta herdabilidade em gerações precoces, ocorrendo a fixação de tipos distintos em poucas gerações de autofecundação. Por isso, para esses caracteres, principalmente no que se refere ao número de dias para floração, que, segundo Bernard (1971), é influenciado por dois genes maiores, pode-se fazer seleção em gerações precoces, facilitando a condução de programas de melhoramento que objetivam incorporar essas características, como é o caso do programa da UFV.

Os caracteres número de nós no florescimento, número de vagens e de sementes por planta, avaliados nas plantas F_2 cultivadas na casa de vegetação, apresentaram valores intermediários de herdabilidade, indicando que, neste caso, aproximadamente metade dos efeitos que afetam o

fenótipo é de origem genética e metade é de origem ambiental, sugerindo que a seleção efetiva para essas características deve ser realizada em gerações mais avançadas, quando já terá ocorrido a fixação de tipos gênicos desejáveis.

As estimativas de herdabilidade no sentido amplo obtidas para os caracteres número de vagens e de sementes por planta nas plantas F_2 cultivadas no campo foram muito baixas, concordando com os resultados de Anand e Torrie (1963). Tais resultados indicam que a seleção para esses caracteres, nessa condição ambiental, pode ser ineficiente nas primeiras gerações, baseando-se apenas no indivíduo.

As estimativas dos coeficientes de correlações fenotípica, genotípica e de ambiente entre os caracteres avaliados nas plantas F_2 , cultivadas na casa de vegetação e no campo, encontram-se na Tabela 3. Alguns valores de coeficiente de correlação genotípica, principalmente na amostra de plantas F_2 conduzida no campo, foram superiores a +1. Esses valores superestimados representam coeficientes de correlação genotípica próximos de +1. Discutir as possíveis causas de superestimação das correlações genotípicas é difícil, visto que muitas variáveis estão envolvidas no cálculo dessas estimativas. O mais importante é concluir que, na realidade, as correlações genotípicas entre os caracteres avaliados foram de magnitudes elevadas, tendo importantes implicações nos trabalhos de melhoramento da cultura da soja.

Tabela 3. Estimativas de correlações fenotípica, genotípica e de ambiente entre seis caracteres avaliados em plantas F_2 de soja, oriundas do cruzamento TN x 'IAC-12', cultivadas em casa de vegetação e no campo, no inverno. Viçosa-MG

Caracteres ¹	Correlações					
	Fenotípica		Genotípica		De Ambiente	
	C. Veg. ²	Campo	C. Veg.	Campo	C. Veg.	Campo
DPF e NNF	0,69	0,82	0,85	0,87	0,55	-0,15
DPF e APF	0,47	0,85	0,55	0,87	0,10	0,08
DPF e NVP	0,26	0,68	0,30	1,14	0,19	-0,25
DPF e NSP	0,26	0,67	0,39	1,56	0,11	-0,20
DPF e PSP	0,33	0,64	0,33	0,80	0,32	-0,18
NNF e APF	0,64	0,93	1,08	0,97	-0,17	0,56
NNF e NVP	0,46	0,79	0,65	1,28	0,28	0,27
NNF e NSP	0,47	0,78	0,74	1,72	0,27	0,22
NNF e PSP	0,51	0,74	0,57	0,91	0,51	0,27
APF e NVP	0,44	0,74	0,68	1,32	-0,20	-0,05
APF e NSP	0,48	0,73	0,89	1,74	-0,25	-0,12
APF e PSP	0,50	0,69	0,64	0,91	-0,18	-0,17
NVP e NSP	0,91	0,98	0,89	1,12	0,95	0,97
NVP e PSP	0,86	0,95	0,91	1,62	0,84	0,92
NSP e PSP	0,89	0,96	1,03	1,30	0,83	0,93

¹Abreviações conforme Tabela 1; ²C. Veg. = casa de vegetação

Os coeficientes de correlação fenotípica e genotípica, entre todos os pares de caracteres, foram positivos e de magnitudes variando em função dos caracteres e dos ambientes envolvidos (Tabela 3).

Com exceção da correlação genotípica entre número de nós e altura de planta no florescimento, ligeiramente maior na casa de vegetação, todas as correlações fenotípicas e genotípicas entre os caracteres mensurados no campo foram superiores às aquelas estimadas na casa de vegetação (Tabela 3). Este fato pode ser atribuído à presença de maior variabilidade das plantas F_2 da amostra cultivada no campo, proporcionada pelo número mais elevado de plantas dessa amostra e, também, ao efeito diferencial da interação da temperatura e do fotoperíodo sobre o desempenho dessas plantas, não havendo condições favoráveis para que as mesmas florescessem tão cedo quanto na casa de vegetação, já que, no campo, as baixas temperaturas no início do desenvolvimento vegetativo das plantas e o aumento do fotoperíodo nos períodos subsequentes (Tabela 1) impediram que as mesmas florescessem nesta fase, fazendo com que as plantas permanecessem por mais tempo no campo e proporcionassem amplitudes mais elevadas, para a maioria dos caracteres avaliados no campo em relação aos mesmos avaliados na casa de vegetação.

No campo, as estimativas de correlação genotípica entre os caracteres analisados apresentaram valores elevados, indicando que as plantas com período de juvenilidade mais longo foram, também, as mais altas, as que apresentaram maior número de nós no florescimento e maior potencial produtivo, coincidindo com resultados de outros pesquisadores (Gopani e Kabaria, 1970; Sakiyama, 1989; Moro, 1990). Portanto, a seleção apenas no caráter número de dias para florescimento, que apresentou altas estimativas de herdabilidade, favoreceria a seleção indireta de outros caracteres avaliados, principalmente daqueles de mais difícil seleção, como os relacionados com a produção, por apresentarem valores de herdabilidade inferiores. Na casa de vegetação, diferentemente do que ocorreu no experimento de campo, as correlações genotípicas entre o número de dias para florescimento e todos os outros caracteres analisados, com exceção do número de nós no florescimento, foram baixas, indicando que a seleção baseada apenas no número de dias para a floração pode não ser efetiva para ganhos em todos os caracteres avaliados.

As estimativas de correlação de ambiente variaram em sinais e magnitudes, de acordo com os pares de caracteres e o ambiente envolvidos (Tabela 3). Isso forneceu evidência de que os ambientes

estudados afetaram certos caracteres de forma diferente, pois, em alguns casos, houve inversão do sinal do coeficiente de correlação ambiental. No entanto, houve tendência de se manter o sinal e a magnitude desses coeficientes, para a maioria dos pares de caracteres.

Referências bibliográficas

- Anand, S.C.; Torrie, J.H. Heritability of yield and other traits and interrelationships among traits in the F_3 and F_4 generations of three soybeans crosses. *Crop Sci.*, 3:508-511, 1963.
- Axelrod, B. Lipoxigenases. *Adv. Chem. Series*, 2:508-511, 1974.
- Bernard, R.L. Two major genes for time of flowering and maturity in soybeans. *Crop Sci.*, 11:242-244, 1971.
- Cruz, C.D.; Regazzi, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: Imprensa Universitária, 1994. 390p.
- Falconer, D.S. *Introdução à genética quantitativa*. Tradução de M.A. Silva e J.C. Silva. Viçosa: Imprensa Universitária, 1987. 279p.
- Gopani, D.D.; Kabaria, M.M. Correlation of yield with agronomic characters and their heritability in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Ind. J. Agric. Sci.*, 40:847-853, 1970.
- Johnson, H.W.; Bernard, R.L. Soybean, genetics and breeding. In: Norman, A.G. (ed.). *The soybean genetics, breeding, physiology, nutrition and management*. New York: Academic Press, 1967. p. 1-73.
- Moro, G.L. *Herança da precocidade, herdabilidade de alguns caracteres agrônômicos, correlações entre estes caracteres e heterose em soja* (*Glycine max* (L.) Merrill). Viçosa, 1990. (Master's Thesis in Genetics and Plant Breeding) - Universidade Federal de Viçosa.
- Oliveira, A.B. *Estimativas de herdabilidades e de correlações em linhagens de soja* (*Glycine max* (L.) Merrill) derivadas pelo teste de geração precoce. Viçosa, 1985. (Master's Thesis in Genetics and Plant Breeding) - Universidade Federal de Viçosa.
- Sakiyama, N.S. *Herdabilidade, Correlação e seleção de genótipos de ciclo precoce, em soja* (*Glycine max* (L.) Merrill), nas condições de verão e inverno, em Viçosa, Minas Gerais. Viçosa, 1989. (Doctoral Thesis in Genetics and Plant Breeding) - Universidade Federal de Viçosa.
- Wricke, G.; Weber, W.E. *Quantitative genetics and selection in plant breeding*. New York: Walter de Gruyter, 1986. 404p.

Received on August 19, 1999.

Accepted on April 17, 2000.