

Avaliação de Cruzamentos Dialélicos para Produção de Grãos e Caracteres Agronômicos, e Perspectivas de Melhoramento em Soja

Fernando Hoshino Shirahige¹; Leandro Augusto Andrade Fumes²; Larissa Pereira de Castro³; Guilherme José Farias⁴; José Manoel Colombari Filho⁵; Isaias Olívio Geraldi⁶

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros da capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) entre seis cultivares de soja adaptadas às condições de cultivo do Estado de São Paulo, visando identificar genitores e cruzamentos promissores. Os 15 cruzamentos foram avaliados em um experimento em blocos casualizados com 20 repetições, utilizando parcelas lineares de 2 m espaçadas de 0,5 m, contendo 30 plantas após o desbaste. Foram avaliados os caracteres: produção de grãos (PG), dias para florescimento (DF), dias para maturação (DM), altura de plantas no florescimento (AF) e altura de planta na maturação (AM). Os quadrados médios de tratamentos de todos os caracteres foram altamente significativos pelo teste F ($P \leq 0,01$), bem como os quadrados médios da CGC e CEC. A CGC foi o efeito preponderante na composição das médias dos cruzamentos para os caracteres DF, DM, AF e AM, enquanto que para PG houve a preponderância dos efeitos da CEC. Um genitor (FT-14) destacou-se quanto à concentração de alelos favoráveis para os cinco caracteres. Para PG os melhores cruzamentos envolveram pelo menos um genitor com alta CGC ou, então, os genitores com as maiores CEC.

Introdução

O grande desafio dos melhoristas de soja consiste em identificar genótipos que superem a produção de grãos expressa pelas cultivares existentes no mercado (Leffel e Weiss, 1958). Porém, o primeiro desafio encontrado pelo melhorista é a identificação dos genitores que deverão ser utilizados nas hibridações para gerar novas populações. A escolha dos genitores com base em caracteres desejáveis é insuficiente para assegurar a obtenção de progênie promissoras. É necessário que os genótipos utilizados nos cruzamentos tenham capacidade combinatória em níveis expressivos para produzirem, com alta frequência, recombinações favoráveis (Ferreira Filho, 1982). Desta forma, o sucesso de um programa de melhoramento genético é condicionado pela eficiência na escolha dos genitores, que produzam populações segregantes promissoras, possibilitando a seleção de genótipos superiores. Em vista disso, o cruzamento dialélico tem sido amplamente utilizado para a seleção de genitores.

O objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros da capacidade geral e específica de combinação, identificando genitores e combinações promissoras para gerar populações segregantes que atendam a um programa de melhoramento genético de soja no Estado de São Paulo.

Material e Métodos

Foram efetuados cruzamentos dialélicos em casa de vegetação entre seis genitores adaptados às condições de cultivo do Estado de São Paulo: as cultivares Embrapa-60, MG/BR-46 (Conquista), IAC-12, IAC-100, FT-10 (Princesa) e FT-14 (Piracema). Estes foram cruzados em um dialelo completo, sem recíprocos, originando 15 cruzamentos F_1 , os quais foram autofecundados para obtenção da geração F_2 . Posteriormente, as sementes F_2 foram semeadas para a obtenção de sementes F_3 , que foram colhidas em “*bulk*” por cruzamento. Finalmente, no ano agrícola de 2010/11, as populações F_3 foram novamente multiplicadas no campo e colhidas em “*bulk*” por cruzamento, para permitir a realização de experimentos maiores, com mais repetições. Assim, foram obtidas as populações F_4 .

¹ Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas pela ESALQ/USP. e-mail: fhshirah@usp.br

² Mestrando em Genética e Melhoramento de Plantas pela ESALQ/USP. e-mail: fumes@usp.br

³ Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas pela ESALQ/USP, Pesquisadora do CTC. e-mail: larissa.vendrame@ctc.com.br

⁴ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas pela ESALQ/USP. e-mail: gifarias@gmail.com

⁵ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas pela ESALQ/USP, Pesquisador da Embrapa Arroz-Feijão. e-mail: jose.colombari@embrapa.br

⁶ Professor Associado, Departamento de Genética da ESALQ/USP. e-mail: iogerald@usp.br

O experimento de avaliação dos 15 cruzamentos (tratamentos) na geração F_4 e de seis testemunhas foi realizado na área experimental do Departamento de Genética da ESALQ-USP, no município de Piracicaba (SP), no ano agrícola de 2011/12. Empregou-se o delineamento em blocos casualizados com 20 repetições. Cada parcela foi definida por três linhas paralelas de 2 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m; porém como parcela útil foi considerada apenas a linha central. Na semeadura, foi adotada uma densidade de 30 plantas por metro linear, realizando-se desbaste para 15 plantas por metro linear. Foram avaliados os caracteres: produção de grãos (PG), em $g.m^{-2}$; dias para florescimento (DF) e maturação (DM), em dias; e altura de plantas no florescimento (AF) e na maturação (AM), em cm. As análises de variância do cruzamento dialélico, bem como as estimativas dos componentes de médias (capacidade geral e específica de combinação) foram obtidas segundo o método 4, modelo I (fixo) de Griffing (1956).

Resultados e Discussão

Os resultados das análises de variância para todos os caracteres (Tabela 1) revelam que os quadrados médios de tratamentos de todos os caracteres foram altamente significativos ($P \leq 0,01$), evidenciando diferenças entre os 15 cruzamentos. Os coeficientes de variação experimental para as características estudadas variaram de 1,6% a 15,2%, indicando boa precisão do experimento (Tabela 1). Esses coeficientes de variação estão de acordo com os observados por outros autores, para este tipo de parcela.

Tabela 1. Quadrados médios (QM) para produção de grãos (PG), em $g.m^{-2}$; dias para florescimento (DF) e maturação (DM), em dias; e altura de plantas no florescimento (AF) e na maturação (AM), em cm.

FV	GL	QM									
		PG	DF	DM	AF	AM					
Blocos	19	16.258,3	**	10,11	**	14,03	**	206,9	**	95,9	**
Tratamentos	14	21.363,0	**	242,49	**	315,20	**	1.735,8	**	681,8	**
CGC	5	11.568,4	**	600,95	**	512,31	**	4.306,8	**	1.284,7	**
CEC	9	31.330,9	**	63,78	**	251,99	**	573,8	**	422,7	**
Erro	(1)	3.240,1		4,04		6,00		57,4		43,1	
CV%		15,2		3,18		1,62		10,7		6,7	
$SQ_{CGC}(\%)^2$		17,02		83,96		53,04		80,7		62,8	
$SQ_{CEC}(\%)^2$		82,98		16,04		46,96		19,3		37,2	

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

¹ Graus de liberdade: 338 (PG), 363 (DF), 356 (DM), 362 (AF) e 369 (AM).

² Porcentagem das somas de quadrados de tratamentos explicadas pelas CGC e CEC.

Pela análise dialélica de variância (Tabela 1) observa-se que foram detectadas diferenças significativas ($P \leq 0,01$) para a CGC e CEC em todos os caracteres, o que indica, no caso da CGC, haver pelo menos um dos genitores que difere dos demais quanto à concentração de alelos favoráveis. Já pela significância da capacidade específica de combinação (CEC), pode-se inferir que as diferenças entre as médias dos cruzamentos para todos estes caracteres não se devem somente ao comportamento individual dos genitores. Na maioria dos caracteres avaliados, exceto PG, os quadrados médios da CGC foram superiores aos da CEC e, além disso, a soma de quadrados da CGC explicou de 53,0% (DM) a 83,9% (DF) da variação entre tratamentos, havendo, assim, predomínio da CGC e, portanto, dos efeitos aditivos na variação entre os cruzamentos. Para PG ocorreu o inverso, havendo o predomínio da CEC, visto que esta explicou 82,9% da variação entre tratamentos, o que indica que os efeitos não aditivos se sobrepõem aos aditivos na variação entre os cruzamentos.

As médias dos cruzamentos (Tabela 2) indicam a ocorrência de grande variação entre as médias para os vários caracteres. A média da PG variou de 319,7 $g.m^{-2}$ (IAC-100 x FT-14) a 427,9 $g.m^{-2}$ (MG/BR-46 x FT-14). O mesmo ocorreu para as demais características, isto é, o intervalo de variação foi de 56,1 a 71,1 dias para DF; 147,0 a 160,2 dias para DM; 52,6 a 90,3 cm para AF; e 86,9 a 107,8 cm para AM. Estes resultados evidenciam a grande divergência existente entre as cultivares utilizadas, para todos os caracteres.

As estimativas dos efeitos de CGC (g_i e g_j) de cada genitor (Tabela 3) indicam que para PG, em metade

dos genitores os valores foram positivos, ou seja, a capacidade de provocar desvios positivos em relação a média ocorreu em três dos seis genitores (MG/BR-46, IAC-12 e FT-14). A estimativa de g_p é de grande valia para a seleção de genitores em programas de melhoramento, pois altas estimativas de g_i geralmente são expressas por genótipos com a maior frequência de alelos favoráveis (Vencovsky, 1987). O maior g_i foi observado no genitor FT-14 ($g_i = 18,88$), ou seja, 3,36 vezes superior ao segundo colocado (MG/BR-46; $g_i = 5,61$). Para as demais cultivares, as CGCs foram negativas, indicando que as mesmas têm menor concentração de alelos favoráveis.

Tabela 2. Média dos cruzamentos para produção de grãos (PG), dias para florescimento (DF), dias para maturação (DM), altura no florescimento (AF) e altura na maturação (AM).

Cruzamentos			PG (g.m ²)	DF (dias)	DM (dias)	AF (cm)	AM (cm)
EMBRAPA-60	X	MG/BR-46	325,5	71,1	157,3	90,3	101,9
EMBRAPA-60	X	IAC-12	410,0	66,2	153,1	77,2	95,2
EMBRAPA-60	X	IAC-100	346,8	64,5	153,5	74,1	102,6
EMBRAPA-60	X	FT-10	344,9	62,7	149,4	66,6	89,2
EMBRAPA-60	X	FT-14	363,7	60,0	147,9	63,7	93,3
MG/BR-46	X	IAC-12	352,6	65,9	157,2	72,2	103,7
MG/BR-46	X	IAC-100	360,2	66,6	155,0	77,2	102,9
MG/BR-46	X	FT-10	370,1	63,3	155,7	79,5	107,8
MG/BR-46	X	FT-14	427,9	61,2	160,2	65,4	105,8
IAC-12	X	IAC-100	325,2	63,0	147,0	60,5	93,7
IAC-12	X	FT-10	322,1	65,5	155,1	75,9	98,7
IAC-12	X	FT-14	412,1	60,5	155,1	61,6	97,5
IAC-100	X	FT-10	394,8	63,0	155,0	67,7	95,0
IAC-100	X	FT-14	319,7	60,1	148,7	52,6	86,9
FT-10	X	FT-14	366,0	56,1	147,0	58,4	96,3
Média geral			373,4	63,3	151,3	70,6	97,8

Em relação aos demais caracteres, destacam-se quanto à CGC, os seguintes genitores: FT-14 para DF (mais precoce) e, FT-14 e IAC-100 para DM (mais precoces), AF (porte mais baixo) e AM (porte mais baixo). Portanto, a cultivar FT-14 reúne alelos favoráveis para todos os caracteres avaliados (Tabela 3), podendo ser indicada em cruzamentos visando aumentar a PG e redução de DF, DM, AF e AM, já que estes são os caracteres de importância para a cultura da soja.

Tabela 3. Estimativas da média (\hat{m}) e capacidade geral de combinação (g_i ou g_j) para os caracteres produção de grãos (PG), dias para florescimento (DF), dias para maturação (DM), altura no florescimento (AF) e altura na maturação (AM) para os seis cultivares de soja.

Caracteres	g_i ou g_j						\hat{m}
	EMBRAPA-60	MG/BR-46	IAC-12	IAC-100	FT-10	FT-14	
PG	-5,74	5,61	2,03	-16,79	-3,99	18,88	362,77
DF	1,98	2,88	1,13	0,16	-1,49	-4,67	63,31
DM	-1,13	4,92	0,44	-1,63	-0,88	-1,71	153,15
AF	6,07	9,24	-0,06	-3,88	0,12	-11,48	69,53
AM	-1,99	7,98	-0,34	-2,27	-0,79	-2,59	98,03

Na Tabela 4 estão apresentadas as estimativas dos efeitos das CEC (s_{ij}) dos 15 cruzamentos, para todos os caracteres avaliados. Observa-se que os cruzamentos com boa complementação para os cinco caracteres estudados foram: IAC-100 x FT-10, EMBRAPA-60 x IAC-12 e MG/BR-46 x FT-14 para PG (mais produtivos);

IAC-12 x IAC-100, MG/BR-46 x IAC-12 e MG/BR-46 x FT-10 para DF (mais precoces); IAC-12 x IAC-100 e FT-10 x FT-14 para DM (mais precoces); Embrapa-60 x FT-10 e MG/BR-46 x IAC-12 para AF (porte mais baixo); e Embrapa-60 x FT-10 e IAC-100 x FT-14 para AM (porte mais baixo). Altas CEC, indicam que aqueles cruzamentos possuem um maior número de locos divergentes e, portanto, a população segregante dele derivado terá maior variação genética (Leffel e Weiss, 1958), evidentemente ampliando a chance de selecionar linhagens com desempenho superior a dos pais. A avaliação conjunta da CEC revela que a combinação favorável para os cinco caracteres estão dispersos entre os diferentes cruzamentos.

Analisando-se as médias dos cruzamentos para PG (Tabela 2), observa-se que o primeiro (MG/BR-46 x FT-14) e o segundo (IAC-12 x FT-14) classificados reúnem o benefício do genitor com maior CGC (FT-14). Estes dois cruzamentos, destacam-se ainda pela capacidade específica de combinação (Tabela 4), mostrando a importância dos dois efeitos (CGC e CEC) na composição das médias. Por outro lado, o terceiro (Embrapa-60 x IAC-12) e o quarto (IAC-100 x FT-10) são os que apresentam as maiores CEC. Além disso, o cruzamento Embrapa-60 x IAC-12 é o que melhor combina os efeitos da capacidade específica de combinação para a maioria dos caracteres, sendo, portanto, bastante promissor.

É importante ressaltar ainda que os cruzamentos entre genitores geneticamente relacionados (IAC-12 e IAC-100 e FT-10 e FT-14) apresentaram baixas CEC para a maioria dos caracteres, o que é esperado, visto que devem apresentar muitos locos com alelos em comum.

Tabela 4. Estimativas da capacidade específica de combinação (s_{ij}) entre os cultivares para os caracteres produção de grãos (PG), dias para florescimento (DF), dias para maturação (DM), altura no florescimento (AF) e altura na maturação (AM) para os 15 cruzamentos de soja.

Cruzamentos			s_{ij}				
			PG	DF	DM	AF	AM
EMBRAPA-60	X	MG/BR-46	-37,14	2,92	0,37	5,47	-2,13
EMBRAPA-60	X	IAC-12	50,94	-0,23	0,65	1,67	-0,50
EMBRAPA-60	X	IAC-100	6,56	-0,96	3,12	2,39	8,82
EMBRAPA-60	X	FT-10	-8,14	-1,11	-1,73	-9,11	-6,05
EMBRAPA-60	X	FT-14	-12,21	-0,63	-2,40	-0,41	-0,15
MG/BR-46	X	IAC-12	-17,81	-1,43	-1,31	-6,51	-1,98
MG/BR-46	X	IAC-100	8,61	0,25	-1,43	2,32	-0,85
MG/BR-46	X	FT-10	5,71	-1,41	-1,48	0,61	2,57
MG/BR-46	X	FT-14	40,64	-0,33	3,84	-1,88	2,38
IAC-12	X	IAC-100	-22,81	-1,61	-4,95	-5,08	-1,73
IAC-12	X	FT-10	-38,71	2,54	2,40	6,32	1,80
IAC-12	X	FT-14	28,41	0,72	3,22	3,61	2,40
IAC-100	X	FT-10	52,81	1,02	4,37	1,94	0,03
IAC-100	X	FT-14	-45,17	1,29	-1,11	-1,56	-6,28
FT-10	X	FT-14	-11,66	-1,06	-3,56	0,24	1,65

Portanto, a CGC foi o efeito preponderante na composição das médias dos cruzamentos para os caracteres DF, DM, AF e AM, e um genitor destacou-se quanto à concentração de alelos favoráveis: FT-14. As melhores combinações híbridas para PG envolveram pelo menos um dos genitores com alta CGC ou, então, dois genitores com CEC mais altas.

Agradecimentos

Ao CNPq e à Capes, pelas bolsas de mestrado, doutorado e de pesquisador (IOG). Aos funcionários Fernandes de Araújo e Gustavo Alexandre Perina, pelo auxílio na condução do trabalho.

Referências

- Ferreira Filho AWP (1982) **Mecanismos de seleção e seus efeitos em populações de trigo com diferentes níveis de segregação**. Dissertação de mestrado - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 135p.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, 1(9): 462-493.
- Leffel RC and Weiss MG (1958) Analysis of diallel crosses among ten varieties of soybeans. **Agronomy Journal**, 50: 528-534.
- Vencovsky R (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani E (ed.) **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Fundação Cargill, Piracicaba, p.135-214.