

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE OITO LINHAGENS DE MILHO EM UM SISTEMA DIALÉLICO DESBALANCEADO^{1/}

Romário Gava Ferrão^{2/}
José Carlos Silva^{3/}
Cosme Damião Cruz^{3/}

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais objetivos dos melhoristas de milho tem sido a obtenção de linhagens melhoradas, utilizadas na obtenção de híbridos comerciais. O valor de uma linhagem, no processo de produção comercial do híbrido, depende das suas características e do seu comportamento em combinações híbridas. Têm sido feitos muitos estudos para estabelecer um método rápido e eficiente de testar as linhagens produzidas quanto à sua capacidade de formar híbridos superiores. Uma forma efetiva de testar um grupo de linhagens são os cruzamentos dialélicos (3, 8, 10, 11, 12, 16).

Os cruzamentos dialélicos têm sido também amplamente usados por geneticistas, visando ao melhor entendimento da natureza da ação dos genes envolvidos em caracteres de importância na agricultura e na evolução. Na análise de dialelos têm sido propostos vários esquemas (5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16), que, apesar de algumas distinções, são aplicáveis a um conjunto mínimo de $p(p-1)/2$ híbridos simples, resultantes de todas as combinações entre p linhagens paternas. Em alguns casos, dependendo da metodologia utilizada, podem ser incluídas outras gerações, como retrocruzamentos, F_2 , etc.

^{1/} Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, pelo primeiro autor, como uma das exigências do Curso de Genética e Melhoramento para a obtenção do grau «Magister Scientiae».

Recebido para publicação em 11-3-1985.

^{2/} Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA). 29000 Vitória, ES.

^{3/} Departamento de Biologia Geral da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

Apesar das grandes vantagens da utilização dos cruzamentos dialélicos, seu uso prático é limitado ao estudo de um número relativamente pequeno de linhagens paternais. Além disso, pode ocorrer que o fitomelhorista esteja interessado em avaliar a capacidade combinatória de p linhagens, tendo disponível apenas um número de combinações híbridas inferior a todas as possíveis combinações entre essas linhagens ($p(p-1)/2$).

No caso específico de cruzamentos dialélicos parciais, em que cada progenitor é envolvido num mesmo número de cruzamentos, mas somente uma amostra de todos os cruzamentos possíveis é estudada, metodologias de análises têm sido apresentadas por vários autores (1, 2, 17).

Um problema adicional surge quando o número de combinações híbridas desejadas não é obtido por algum motivo imprevisto, como insuficiência de sementes, perda de parcelas etc., ficando o sistema dialélico desbalanceado. Nesse caso, o uso da metodologia apresentada por KEULS e GARRETSEN (18) e GARRETSEN e KEULS (9) parece ser mais adequado.

Este trabalho tem por objetivo apresentar a análise de um dialelo incompleto, com oito linhagens de milho, usando a metodologia proposta por KEULS e GARRETSEN (18) e GARRETSEN e KEULS (9), bem como indicar, por meio dessa metodologia, as melhores linhagens e/ou combinações híbridas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Oito linhagens de milho, produzidas na Universidade Federal de Viçosa, foram usadas em cruzamentos dialélicos, visando à obtenção de híbridos simples, que foram testados nos anos agrícolas 1978/79, 1979/80 e 1980/81. Por motivo da insuficiência de produção de sementes em alguns cruzamentos, somente 24 F_1 's foram testados nos dois primeiros anos e 23 no terceiro ano.

Os ensaios foram instalados no campo experimental de Genética da Universidade Federal de Viçosa, em blocos casualizados, com seis repetições nos dois primeiros anos e três no terceiro.

Cada fileira de 6,0 metros constituiu uma parcela, em que foram distribuídas três sementes/cova, com espaçamento de 1,0 metro entre fileiras e 0,5 metros entre covas. Foi feito desbaste, aproximadamente aos 40-45 dias, deixando-se duas plantas/cova. As práticas culturais foram realizadas normalmente, quando necessárias.

Foram avaliados a produção de grãos, em kg/parcela, o peso das espigas, em kg/parcela, o número de espigas por parcela, o 'stand' final da parcela e a porcentagem de umidade dos grãos/parcela por ocasião da colheita. Os dados de peso de grãos/parcela e peso de espigas/parcela, corrigidos para umidade constante de 15,5% foram ajustados para o 'stand' ideal de 24 plantas/parcela, através da fórmula proposta por ZUBER (19).

Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta (modelo fixo), a fim de verificar a ocorrência, ou não, de interação de híbridos e anos. Posteriormente, foram feitas as análises da capacidade combinatória. Como o sistema dialélico era desbalanceado, por motivo da falta de alguns F_1 's, utilizou-se, para a análise, a metodologia proposta por KEULS e GARRETSEN (18) e GARRETSEN e KEULS (9), cuja analogia com a metodologia de GRIFFING (11) foi mostrada por FERRÃO (4).

A metodologia de KEULS e GARRETSEN (18) e GARRETSEN e KEULS (9) permite obter estimativas dos efeitos e das somas dos quadrados dos efeitos da capacidade geral e específica de combinação em sistemas dialélicos balanceados

e desbalanceados. Nessa metodologia utilizam-se partes (ou subespaços) das matrizes da equação normal de estimação dos parâmetros, obtendo-se matrizes de ordem menos elevada, cujas inversas são obtidas com menor erro numérico. Na metodologia normal, as matrizes $X'X$ são de ordem mais elevada, com alguma interdependência entre suas linhas ou colunas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 são apresentados os resultados da análise de variância conjunta relativa a número de espigas/parcela, peso espigas/parcela e produção de grãos/parcela. A não-significância do efeito da interação de tratamentos (híbridos) e anos, para os caracteres estudados, indica a inexistência de comportamento diferencial entre os híbridos nos três anos. A ocorrência de diferenças, significativas a 1% de probabilidade, entre os tratamentos evidenciou a importância das diferenças genotípicas, que foram investigadas através da análise da capacidade combinatória.

O desdobramento das somas de quadrados da análise conjunta referente a tratamentos e tratamentos x anos em somas de quadrados da capacidade combinatória, e sua interação com anos, é apresentado no Quadro 2.

Embora os quadrados médios não sejam indicadores diretos da importância relativa dos componentes de variância genotípica, as significâncias encontradas para o quadrado médio da capacidade geral de combinação (CGC), que fornece a média dos quadrados dos efeitos da CGC, dependente dos efeitos genéticos aditivos, e para o quadrado médio da capacidade específica de combinação (CEC), que fornece a média dos quadrados dos efeitos da CEC, dependente dos desvios da dominância, mostram a ocorrência de variabilidade genética no material, que poderá ser aproveitada por algum processo de seleção.

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação são apresentadas no Quadro 3, possibilitando a comparação da importância relativa dos efeitos (\hat{g}_i) dos vários progenitores utilizados. No caso das variáveis estudadas, valores altos e positivos das estimativas de \hat{g}_i são os de maior interesse, pois indicam que a média dos cruzamentos que envolvem o progenitor em questão é maior que a média geral de todos os F_1 's que entraram no sistema de cruzamentos.

Analisando o Quadro 3, verifica-se que as linhagens L-960 e L-840 trazem contribuições favoráveis ao aumento da produção de grãos/parcela e do peso das espigas/parcela, apesar de serem linhagens que não contribuem para a prolificidade de seus híbridos. A prolificidade poderá ser alcançada, sem maiores prejuízos para peso de grãos e peso de espigas por parcela, através das linhagens L-25, L-405 e L-494.

As estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}), para número de espigas/parcela, peso de espigas/parcela e produção de grãos/parcela, e as respectivas médias de cruzamentos acham-se no Quadro 4. Como os efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) são estimados como desvios de comportamento do híbrido, em relação ao que seria esperado com base na capacidade geral de combinação, interessam ao melhorista as combinações híbridas de maiores estimativas de \hat{s}_{ij} que envolvam pelo menos um dos progenitores que tenham apresentado o mais favorável efeito de capacidade geral de combinação. Nos casos em que o desvio-padrão entre as estimativas de \hat{g}_i for muito grande, de tal forma que alguns progenitores apresentem estimativas destacadamente superiores, em relação aos demais, tal como ocorre, por exemplo, com o caráter número de espigas/parcela (Quadro 3), a combinação entre esses progenitores com valores altos

QUADRO 1 - Quadrados médios, médias e coeficientes de variação (C.V.), na análise conjunta dos três anos, para número de espigas/parcela, peso de espigas/parcela e produção de grãos/parcela. 1978/81. Viçosa, MG

Fontes de variação	G.L.	Número de espigas/ parcela	Peso de espigas/ parcela (kg)	Produção de grãos/ parcela (kg)
Anos	2	163,204 ^{ns}	0,822 ^{ns}	0,258 ^{ns}
Blocos/Anos	12	66,021	2,427	1,874
Tratamentos	23 ^{1/}	349,255**	2,921**	2,057**
Trat. X Anos	45 ^{1/}	39,138 ^{ns}	0,412 ^{ns}	0,327 ^{ns}
Bloco X (Trat./Anos)	274	28,599	0,515	0,386
Média		29,683	4,036	3,293
C.V. (%)		18,02	17,78	18,87

** - Significativo a 1% de probabilidade.

ns - Não-significativo.

^{1/} - Graus de liberdade aproximados, pelo desbalanceamento de tratamentos em cada ano.

QUADRO 2. - Quadrados médios das capacidades combinatórias, geral e específica (Método de KEULS e GARRETSEN, 1977), e do erro, na análise conjunta dos três anos, para número de espigas/parcela, peso de espigas/parcela e produção de grãos/parcela. 1978/81. Viçosa, MG

Fontes de variação	G.L.	Número de espigas/ parcela	Peso de espigas/ parcela (kg)	Produção de grãos/ parcela (kg)
C.G.C.	7	1031,603**	451,009**	3,246**
C.E.C.	16	56,477	2,037**	1,551**
C.G.C. X Anos	14	28,855	0,020	0,037
C.E.C. X Anos	32	42,414	0,571	0,423
Erro	274	28,599	0,515	0,386

** - Significativo a 1% de probabilidade.

C.G.C. = Capacidade geral de combinação.

C.E.C. = Capacidade específica de combinação.

QUADRO 3 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_1) das oito linhagens progenitoras, para número de espigas/parcela, peso de espigas/parcela e produção de grãos/parcela

Linhagens progenitoras	Número de espigas/ parcela	Peso de espigas/ parcela (kg)	Produção de grãos/ parcela (kg)
L - 25	4,406	0,058	0,064
L - 405	0,736	0,112	0,084
L - 494	6,761	0,077	0,096
L - 810	-2,284	-0,346	-0,288
L - 840	-2,226	0,390	0,232
L - 955	-4,316	-0,336	-0,310
L - 958	0,273	-0,084	0,003
L - 960	-1,185	0,256	0,209

QUADRO 4 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}), para número de espigas/parcela (NEP), peso de espigas/parcela (PEP) e produção de grãos/parcela (PGP), acima da diagonal, e respectivas médias de cruzamentos, abaixo da diagonal, relativas à análise conjunta dos três anos, 1978/81. Viçosa, MG

Linhagens progenitoras	Caracteres	Linhagens progenitoras							
		L-25	L-405	L-494	L-810	L-840	L-955	L-958	L-960
L - 25	NEP		-1,307	-0,295	-0,316	1,292	-0,951	1,326	0,251
	PEP	-	-0,555	-0,418	0,055	-0,034	0,356	0,448	0,148
	PGP		-0,483	-0,399	0,049	0,002	0,320	0,408	0,108
L - 405	NEP	33,47			-0,217		-2,052	0,359	3,217
	PEP	3,65			-0,249		-0,072	0,327	0,550
	PGP	2,96			-0,221		0,020	0,228	0,456
L - 494	NEP	40,53					1,361	0,038	-1,103
	PEP	3,75					0,331	0,171	-0,090
	PGP	3,05					0,272	0,172	-0,046
L - 810	NEP	31,47	27,87			0,583	-0,594	-0,183	0,726
	PEP	3,80	3,55			0,036	-0,010	-0,010	-0,145
	PGP	3,12	2,87			0,268	0,007	0,020	-0,124
L - 840	NEP	33,13			25,73		3,813	-1,908	-3,782
	PEP	4,45			4,44		0,158	-0,233	-0,251
	PGP	3,59			3,50		0,129	-0,194	-0,202
L - 955	NEP	28,80	24,00	33,47	22,47	26,93		-0,951	-0,626
	PEP	4,11	3,74	4,11	3,34	4,25		-0,629	-0,132
	PGP	3,36	3,08	3,45	2,70	3,34		-0,595	-0,154
L - 958	NEP	35,67	31,00	26,73	27,47	25,80	24,67		1,318
	PEP	4,46	4,39	4,20	3,59	4,11	2,98		0,080
	PGP	3,77	3,61	3,56	3,03	3,33	2,39		0,039
L - 960	NEP	31,13	32,40	34,13	26,92	22,47	23,53	30,07	
	PEP	4,50	4,95	4,28	3,80	4,43	3,82	4,13	
	PGP	3,67	4,04	3,55	3,08	3,53	3,04	3,46	

de \hat{g}_i poderá resultar num cruzamento com baixo valor do \hat{s}_{ij} , o que indicará que seu comportamento esteve próximo do que seria esperado, com base na CGC das linhagens que o originaram; assim, sua média poderá ser relativamente alta e, conseqüentemente, de grande interesse. Verifica-se, no Quadro 4, que o híbrido das duas linhagens de maior capacidade geral de combinação para número de espigas/parcela (L-25 e L-494) foi o que apresentou maior média, dentre todos os híbridos, para esse caráter, embora o valor de \hat{s}_{ij} , para essa combinação, tenha sido igual a $-0,295$.

Destaca-se, também no Quadro 4, o híbrido das linhagens L-960 e L-405, que, dentre os híbridos da linhagem L-960, apresentou maior efeito da capacidade específica de combinação para produção de grãos/parcela e peso de espigas/parcela, bem como as maiores médias, dentre todos os híbridos, para esses mesmos caracteres.

Em síntese, os resultados deste trabalho permitem indicar as linhagens L-960 e L-840 para a formação de populações com alta produtividade, podendo, ainda, ser incluídas as linhagens L-25, L-405 e L-494, para a obtenção de maior prolificidade. Quanto aos híbridos, sobressaíram, com relação à produção de grãos/parcela, os cruzamentos entre as linhagens L-960 X L-405, L-958 X L-25, L-960 X L-25, L-958 X L-405 e L-840 X L-25. Deve-se ressaltar ainda o fato de ser o sistema dialélico desbalanceado; conseqüentemente, algumas combinações híbridas não foram avaliadas. Sendo assim, por tratar-se de um modelo fixo, deve-se considerar também a possibilidade de serem as combinações híbridas ausentes do dialelo superiores às anteriormente mencionadas.

4. RESUMO

Estudaram-se 24 híbridos simples, provenientes de cruzamentos dialélicos incompletos entre oito linhagens homozigotas de milho, produzidas na Universidade Federal de Viçosa, no delineamento em blocos casualizados, nos anos agrícolas de 1978/79, 1979/80 e 1980/81.

Realizada a análise de variância conjunta, ficou evidenciada a não significância da interação de tratamentos e anos, caracterizando o comportamento uniforme dos híbridos nos três anos.

Na análise do dialelo desbalanceado utilizou-se a metodologia de KEULS e GARRETSEN, aplicável à análise de dialelos balanceados ou desbalanceados, obtendo-se as estimativas dos efeitos e das somas de quadrados de efeitos das capacidades combinatórias. Os resultados permitiram indicar as linhagens L-960 e L-840 e os híbridos L-960 X L-405, L-958 X L-25, L-960 X L-25, L-958 X L-405 e L-840 X L-25 como os melhores.

5. SUMMARY

(EVALUATION OF THE COMBINING ABILITY OF EIGHT LINES OF CORN IN AN UNBALANCED DIALLEL SYSTEM)

Twenty-four single-cross hybrids originated from crosses among eight inbred lines or corn from the Federal University of Viçosa were evaluated in an incomplete diallel system during the growing seasons of 1978/79, 1979/80 and 1980/81.

The three year data pooled analysis of variance showed no interaction between treatments (hybrids) and years indicating consistent relative performance of the hybrids during the three years.

The incomplete diallel was analyzed using the methodology proposed by

Keuls and Garretsen, which is applicable to both complete and incomplete diallels. The analysis provided the estimates of the effects and of the sums of squares of the effects for the general and specific combining abilities.

The results indicated that the lines L-960 and L-840 and the hybrids L-960 x L-405, L-958 x L-25, L-840 x L-25 performed best among those evaluated.

6. LITERATURA CITADA

1. BRAY, R.A. Quantitative evaluation of the circulant partial diallel cross. *Heredity*, 27:189-202, 1971.
2. DHILLON, B.S. & SINGH, J. Evaluation of circulant partial diallel crosses in maize. *Theor. Appl. Genet.*, 52:29-37, 1978.
3. EBERHART, S.A. & GARDNER, C.O. A general model for genetic effects. *Biometrics*, 22:862-881, 1966.
4. FERRÃO, R.G. *Cruzamentos dialélicos incompletos entre oito linhagens de milho (Zea mays L.) com diferentes ângulos de inserção da folha no colmo*. Viçosa, U.F.V. 1984. 92 p. (Tese Mestrado).
5. GARDNER, C.O. Teoría de genética estadística aplicable a las medias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. *Fitotecnia Latinoamericana*, 2:11-22, 1965.
6. GARDNER, C.O. Simplified methods for estimating and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotecnia Latinoamericana*, 4:1-12, 1967.
7. GARDNER, C.O. & EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, 22:439-452, 1966.
8. GARDNER, C.O. & PATERNIANI, E. A genetic model used to evaluate the breeding potencial of open-pollinated varieties of corn. *Ciência e Cultura*, 19: 95-101, 1967.
9. GARRETSEN, F. & KEULS, M. A general method for the analysis of genetic variation in complete and incomplete diallels and North Carolina II (NC II) designs. Part. II: Procedures and general formulas for the fixed model. *Euphytica*, 27:49-68, 1978.
10. GRIFFING, B. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, 10:31-50, 1956.
11. GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.*, 9:463-493, 1956.
12. HAYMAN, B.I. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10:235-244, 1954.
13. HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, 39:789-809, 1954.

14. HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses II. *Genetics*, 43:63-85, 1958.
15. HAYMAN, B.I. The Theory and analysis of diallel crosses III. *Genetics*, 45:155-172, 1960.
16. KEMPTHORNE, O. Theory of the diallel cross. *Genetics*, 41:451-459, 1956.
17. KEMPTHORNE, O. & CURNOW, R.N. The partial diallel cross. *Biometrics*, 17:229-250, 1961.
18. KEULS, M. & GARRETSEN, F. A general method for the analysis of genetic variation in complete and incomplete diallels and North Carolina II designs. Part I. Procedures and general formulas for the random model. *Euphytica*, 26: 537-551, 1977.
19. ZUBER, M.S. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity trial data. *Jour. Am. Soc. Agron.*, 34:30-47, 1942.