

ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO DE HÍBRIDOS SIMPLES E DUPLOS DE MILHO ORIUNDOS DE UM MESMO CONJUNTO GÊNICO ⁽¹⁾

JUAREZ CAMPOLINA MACHADO ^(2*); JOÃO CÂNDIDO DE SOUZA ⁽³⁾;
MAGNO ANTONIO PATTO RAMALHO ⁽³⁾; JOSÉ LUÍS LIMA ⁽³⁾

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de comparar a estabilidade de híbridos simples e híbridos duplos de milho oriundos de um mesmo conjunto gênico. Foram avaliados 55 tratamentos, sendo dez híbridos simples comerciais, utilizados como parentais e 45 híbridos duplos resultantes de um dialelo completo. As sementes dos híbridos duplos foram obtidas na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (DBI/UFLA). Os experimentos foram desenvolvidos em 15 ambientes, no ano agrícola de 2005/2006, em propriedades de agricultores e estações experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e o caráter avaliado foi a produtividade de espigas despalhadas (kg ha^{-1}), corrigida para 13% de umidade. Obteve-se a contribuição de cada híbrido para a interação genótipos x ambientes e o desvio em relação ao desempenho máximo em cada ambiente utilizando a estatística não-paramétrica por meio da soma de postos. Os híbridos duplos foram, em média, mais estáveis, contudo, identificaram-se híbridos simples tão estáveis quanto os duplos.

Palavras-chave: Interação genótipos x ambientes, Estatística não-paramétrica, *Zea mays* L.

ABSTRACT

YIELD STABILITY IN SINGLE AND DOUBLE CROSSES OF MAIZE ORIGINATED FROM THE SAME GENE POOL

The objective of the present work was to study the adaptability and stability of single and double-crosses of maize originated from the same gene pool. Ten commercial single-crosses and all possible double-crosses, obtained from a complete diallel, were evaluated. Seeds of the double-crosses were obtained in an experimental area of the Biology Department at Universidade Federal de Lavras (DBI/UFLA). The experiments were conducted in 15 environments in the 2005/06 growing season, on farms and in experimental stations. The cultural practices were the ones normally used by farmers or experimental stations for maize. The entries were evaluated in randomized complete blocks design with three replications per environment. The trait under study was husked ears yield (kg ha^{-1}), corrected to 13% of moisture content. Nonparametric statistics were used to study hybrids adaptability and stability. The contribution of each hybrid to the genotype-by-environment interaction and the deviation in relation to the maximum performance in each environment was determined. The double-crosses were on average more stable, although some single-crosses were as stable as the double-crosses.

Key words: Genotype by environment interaction, Nonparametric statistics, *Zea mays* L.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 14 de junho de 2007 e aceito em 10 de dezembro de 2007.

⁽²⁾ Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa (MG). E-mail: juarezcachado@yahoo.com.br (*) Autor correspondente. Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

⁽³⁾ Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037, 37200-000 Lavras (MG).

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do milho no Brasil é realizado em uma ampla diversidade de ambientes. Existem, desde empresários rurais que cultivam extensas áreas e utilizam de todas as tecnologias disponíveis, como também os agricultores familiares que cultivam pequenas áreas e normalmente empregam baixa tecnologia. Nesse contexto, a interação genótipos x ambientes é de fundamental importância, exigindo que os melhoristas utilizem todas as estratégias visando atenuar seus efeitos, e até mesmo aproveitá-la em benefício dos agricultores.

Entre as estratégias para manusear a interação, a escolha de cultivares é de fundamental importância. No Brasil, são vários os tipos de cultivares comercializadas, destacando os híbridos simples (HS), triplos (HT) e duplos (HD). O questionamento normalmente realizado, é se os híbridos duplos, devido à maior heterogeneidade genética, teriam maior estabilidade do que os HS (BECKER e LÉON, 1988; GUILLEN-PORTAL et al., 2003). Contudo há alguns relatos de HS que foram tão ou mais estáveis do que os HD (RIBEIRO et al., 2000; CARVALHO et al., 2005). Infelizmente, nesses trabalhos as comparações foram realizadas envolvendo diferentes combinações híbridas, em que os híbridos duplos não possuíam nenhuma relação com os híbridos simples. Seria importante que essas comparações fossem realizadas entre híbridos do mesmo conjunto gênico.

Por essa razão, foi realizado este trabalho visando comparar a estabilidade de híbridos simples e híbridos duplos obtidos dos respectivos híbridos simples.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dez híbridos simples comerciais (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J) de diferentes empresas (Monsanto, Pioneer, Nidera Sementes e Dow AgroScience), os quais diferiam quanto à textura dos grãos e ciclo. Esses HS foram escolhidos por serem recomendados para o cultivo na Região Sul de Minas Gerais. Empregando-se o esquema de cruzamento dialélico, foram obtidos todos os 45 HD possíveis. As hibridações para obtenção dos HD foram realizadas na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (DBI/UFLA), no ano agrícola de 2004/2005.

Os experimentos foram desenvolvidos em 15 ambientes, no ano agrícola de 2005/06, em propriedades de agricultores e estações experimentais (Tabela 1). Os 55 tratamentos foram avaliados no delineamento de blocos casualizados com três

repetições e a parcela experimental constituída de duas linhas de 3 m de comprimento, mantendo uma densidade populacional, após o desbaste, de 55.000 plantas por hectare. O caráter avaliado foi a produtividade de espigas despalhadas (kg ha⁻¹), corrigida para 13% de umidade. Em cada ambiente, os tratamentos culturais foram os normalmente adotados pela instituição de pesquisa ou proprietário agrícola.

Procedeu-se a análise de variância por ambiente e posteriormente a análise conjunta, de acordo com os procedimentos preconizados por RAMALHO et al. (2005). A análise conjunta foi efetuada utilizando o ajuste do estande ideal pela covariância (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). Todas as análises foram realizadas no PROC GLM do SAS (SAS, 2000).

Avaliou-se a homogeneidade das variâncias residuais dos experimentos que, a princípio, foi verificada por meio do teste da razão entre o maior e o menor quadrado médio residual dos ensaios. Apesar da relativa homogeneidade observada – razão inferior a sete vezes, conforme GOMES (1990), implementou-se também, o teste de Hartley (RAMALHO et al., 2005). Diante da heterocedasticidade detectada, adotou-se a estatística não-paramétrica por meio da soma de postos para o estudo da adaptabilidade e da estabilidade dos híbridos em avaliação (TRUBERG e HUEHN, 2000; MACHADO, 2007).

A partir das médias dos híbridos, foi realizada a ordenação dos dados em uma tabela de dupla entrada entre híbridos (dispostos nas linhas) e ambientes (dispostos nas colunas), tendo o híbrido de menor média em cada ambiente recebido o posto 1 e o de maior média, o posto 55. A partir dessa classificação, foi obtida a estimativa da ecovalência (WRICKE e WEBER, 1986), utilizando-se a seguinte expressão:

$$W_i^2 = \sum (R_{ij} - \bar{R}_i - \bar{R}_{.j} + \bar{R}_{..})^2$$

em que: W_i : ecovalência; R_{ij} : posto referente à observação do híbrido i no ambiente j ; \bar{R}_i : posto médio do híbrido i ; $\bar{R}_{.j}$: posto médio do ambiente j e $\bar{R}_{..}$ corresponde à média geral.

Estimou-se também o desvio de cada híbrido em relação ao desempenho máximo em cada ambiente. Nesse caso, realizou-se a ordenação de todos os dados em uma tabela de dupla entrada entre híbridos (dispostos nas linhas) e ambientes (dispostos nas colunas), tendo o híbrido de menor média recebido o posto 1 e o de maior média, o posto 825. A partir dessa classificação, foi obtida a estimativa do parâmetro de adaptabilidade e estabilidade de LIN e BINNS (1988), utilizando-se a seguinte expressão:

$$P_i = \sum_{j=1}^n (R_{ij} - M_j)^2 / 2n$$

em que: P_i : índice de adaptabilidade e estabilidade do híbrido i ; R_{ij} : posto referente à observação do híbrido i no ambiente j ; M_j : posto máximo entre todos os híbridos no ambiente j e n é o número de ambientes.

As análises de adaptabilidade e estabilidade foram realizadas com o auxílio do aplicativo computacional R (R CORE TEAM, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, vale salientar que embora ocorra dificuldade no manejo dos experimentos nas propriedades dos agricultores, torna-se necessário realizar trabalhos desta natureza, pois se espera que os resultados reflitam as condições para as quais as cultivares serão recomendadas (CECCARELLI et al., 2006). Dos 15 experimentos de avaliação, nove foram desenvolvidos em propriedades de agricultores, e os demais em instituições de pesquisa, com ampla variação nos tratos culturais. Apesar da diversidade de manejo, o modelo estatístico adotado explicou 87,6% da variação total, revelando a boa precisão experimental (Tabela 2). Devido a essa diversidade de ambientes, foi possível constatar, na análise conjunta, a significância da fonte de variação ambientes ($P \leq 0,01$) (Tabela 2). O mesmo ocorreu para fonte de variação híbridos ($P \leq 0,01$), permitindo inferir que há diferença entre os híbridos avaliados. Esse fato, associado com

o comentado anteriormente para ambientes, possibilitou detectar diferença significativa ($P \leq 0,01$) para a interação híbridos x ambientes. Condição essa, indispensável, quando se pretende comparar a estabilidade de cultivares (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de espigas despalhadas (kg ha^{-1}) de dez híbridos simples (HS) e 45 híbridos duplos (HD) de milho, avaliados em 15 ambientes, no ano agrícola de 2005/2006

Fonte de Variação	GL	QM
Ambientes (A)	14	794873096**
Repetição/Ambiente	29	6585709**
Híbridos (H)	54	18097540**
HS	9	19467194**
HD	44	15885586**
HS vs HD	1	103096622**
H x A	756	2554880**
HS x A	126	2928380**
HD x A	616	2396571**
HS vs HD x A	14	6158962**
Resíduo	1566	1289652
CV (%)	-	13,9
R ² (%)	-	87,6
DMS Tukey 5% (kg ha^{-1})	-	977,6
Média (kg ha^{-1})	-	8162
Média HS (kg ha^{-1})	-	8643
Média HD (kg ha^{-1})	-	8082

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

Tabela 1. Características dos ambientes de condução dos experimentos

Ambiente	Município	Latitude	Longitude	DMS ⁽¹⁾	CV ⁽²⁾	Produtividade
				kg ha^{-1}	%	média kg ha^{-1}
Área Experimental DBI/UFLA	Lavras, MG	21°13'S	44°58'W	5193	14,1	10803
Área Experimental Geneze	Guarda-Mor, MG	17°34'S	47°08'W	2844	13,5	6212
Área Experimental Bionacional	Barreiras, BA	12°08'S	45°00'W	1851	12,0	4549
Área Experimental Prezzotto	Jussara, GO	23°35'S	52°28'W	2195	12,5	5152
Fazenda Vitorinha	Lavras, MG	21°12'S	44°58'W	4423	20,8	6246
Área Experimental Coopadap	São Gotardo, MG	19°18'S	46°03'W	3107	11,3	8085
Fazenda Faepe	Ijaci, MG	21°09'S	44°56'W	4551	10,1	13192
Fazenda Faepe	Ijaci, MG	21°09'S	44°56'W	3248	10,7	8896
Fazenda Mato Dentro	Lavras, MG	21°13'S	45°03'W	4309	14,6	8685
Fazenda Morro do Guerra	Ribeirão Vermelho, MG	21°10'S	45°04'W	5092	17,1	8737
Fazenda Candeias	Candeias, MG	20°46'S	45°19'W	3624	10,8	9876
Fazenda Chimarrão	Paracatu, MG	17°13'S	46°39'W	3174	12,0	7768
Fazenda Milanez	Carrancas, MG	21°24'S	44°38'W	3189	12,8	7353
Fazenda dos Coelho	Itutinga, MG	21°23'S	44°46'W	4691	17,2	8041
Fazenda da Pedra	Ingaí, MG	21°22'S	44°45'W	6304	16,0	9166

(¹) DMS = Diferença mínima significativa (Tukey 5%); (²) CV = Coeficiente de Variação.

Verificou-se que a média dos HS diferiu da média dos HD. A superioridade média dos HS em relação aos HD foi de 6,9%, considerando todos os ambientes. O híbrido simples mais produtivo (F) foi 3,3% superior ao híbrido duplo de melhor desempenho (F x G) (Tabela 3), contudo, formaram um único grupo pelo teste de SCOTT e KNOTT (1974). Esses resultados estão de acordo com a proposição de WRICKE e WEBER (1986). Segundo esses autores, se os valores genotípicos de híbridos simples seguem uma distribuição normal, a média dos diferentes tipos de híbridos obtidos a partir deles pode ser predita. Nessa condição, o híbrido simples mais produtivo deve ser 3% superior ao híbrido duplo de melhor desempenho, como constatado na tabela 3.

No Brasil, tem-se observado a substituição gradativa dos híbridos duplos pelos triplos e simples. As sementes dos híbridos simples e triplos são de custo mais elevado, o que pode inviabilizar sua adoção por grande contingente de agricultores (CRUZ e PEREIRA FILHO, 2006, SANGOI et al., 2006). Observou-se que é possível selecionar híbridos duplos com produtividade média comparável aos melhores híbridos simples, os quais podem ser adotados pelos agricultores de menor poder aquisitivo, sem perda expressiva em produtividade.

No estudo da estabilidade, verificou-se, pelas estimativas de ecovalência (W_i^2 %), que os híbridos duplos (HD) contribuíram, em média, com 1,73% para a interação genótipos x ambientes, e os híbridos simples (HS), com 2,20%, ou seja, em média, os HD contribuíram 21% menos para a interação que os HS (Tabela 3). Esses resultados permitem inferir que a maior heterogeneidade dos híbridos duplos proporciona maior tamponamento populacional (ALLARD e BRADSHAW, 1964; GUILLEN-PORTAL et al., 2003).

Entretanto, podem ser identificados híbridos simples tão estáveis quanto os duplos (CARVALHO et al., 2005).

No presente trabalho, identificou-se híbridos simples com estimativas de W_i^2 % equivalentes às dos híbridos duplos, como por exemplo, o híbrido simples F, que contribuiu com 0,55% para a interação, valor semelhante ao observado para os híbridos duplos mais estáveis (Tabela 3).

Considerando que o interesse é obter cultivares que se aproximem da produtividade máxima no maior número de ambientes, foi estimado o parâmetro P_i (Tabela 4). No híbrido simples F houve a menor estimativa de P_i , seguido do híbrido simples D e do híbrido duplo F x G. Essas cultivares foram as que mais se aproximaram das primeiras colocações nos diferentes ambientes, ou seja, possuem o menor desvio em relação ao máximo. No outro extremo estão os HD C x E, A x J e E x C, que mais se afastaram da produtividade máxima nos diferentes ambientes.

Em relação aos critérios, produtividade média de espigas despalhadas, contribuição para a interação genótipos x ambientes e a estimativa do desvio em relação ao máximo em cada ambiente, os híbridos que se destacaram foram o híbrido simples F e o híbrido duplo F x G, que associam alta produtividade média, baixa estimativa de P_i e estabilidade de produção nos ambientes avaliados (Tabelas 3 e 4). Infere-se que é possível recomendar cultivares que atendam às diferentes necessidades dos agricultores, ou seja, desde aqueles que empregam altos níveis de tecnologia exigindo alta uniformidade da lavoura, com a utilização de híbridos simples, como também atender os agricultores que empregam baixa tecnologia, utilizando-se híbridos duplos com menor custo de sementes, mas sem perda expressiva na produtividade.

Tabela 3. Produtividade média de espigas despalhadas (PED), acima da diagonal, em kg ha⁻¹ e estimativas da ecovalência (W_i^2 %), acima da diagonal inferior, utilizando a soma de postos, obtidas na avaliação de híbridos de milho, envolvendo 15 ambientes, no ano agrícola de 2005/2006

Genitores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Média
A	2,24	8973b	8243d	6678g	7929e	9036b	7958e	8655c	8264d	6635g	9013 b
B	1,56	2,54	8341d	8875c	7971e	8618c	8738c	8217d	8008e	8597c	9054 b
C	1,27	1,83	2,33	7790e	6531g	7907e	8007e	8242d	7783e	8060d	7923 e
D	1,17	1,8	2,11	2,59	7971e	8388c	7163f	7718e	8497c	7004f	9187 b
E	1,45	2,49	0,07	3,59	2,21	8397c	8137d	7723e	7956e	8177d	7475 e
F	1,16	1,85	1,88	2,96	1,86	0,55	9344a	8272d	8320d	8868c	9656 a
G	1,45	1,58	2,41	0,29	2,74	0,32	1,92	7538e	8019e	8101d	8870 c
H	1,88	2,12	2,08	0,96	1,47	2,05	0,98	2,64	7885e	8157d	8187 d
I	2,06	1,63	1,99	2,25	2,28	1,68	1,25	2,14	3,00	8004e	8225 d
J	0,36	2,91	2,46	0,75	1,41	1,02	3,49	1,58	1,36	2,30	8839 c

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de SCOTT e KNOTT (1974), a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Estimativas do parâmetro P_i utilizando a soma de postos, obtidas na avaliação de híbridos simples e duplos de milho, envolvendo 15 ambientes, no ano agrícola de 2005/2006

Genitores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	19539	13528	29072	80714	38932	14848	38877	24865	26147	84312
B	-	19982	30072	17848	41365	23748	20013	40917	39461	26672
C	-	-	40605	46095	93828	47787	41234	31469	46067	43484
D	-	-	-	10133	44192	30317	63821	47703	22229	72590
E	-	-	-	-	58442	30651	41148	48874	39108	31073
F	-	-	-	-	-	7874	11553	34819	29478	19040
G	-	-	-	-	-	-	19926	55476	38093	40311
H	-	-	-	-	-	-	-	38785	48121	38053
I	-	-	-	-	-	-	-	-	36079	44314
J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22521

4. CONCLUSÃO

Os híbridos duplos foram, em média, mais estáveis, contudo, identificaram-se híbridos simples tão estáveis quanto os duplos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida aos pós-graduandos envolvidos.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- BECKER, H.C.; LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, n. 1, p. 1-23, 1988.
- CARVALHO, H.W.L. de; CARDOSO, M.J.; LEAL, M. de L. da S.; SANTOS, M.X. dos; TABOSA, J.N.; SOUZA, E.M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 471-477, 2005.
- CECCARELLI, S.; GRANDO, S.; BAUM, M. Plant breeding for dry areas. In: **Anais do X Simpósio Sobre Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas**. Lavras: UFLA, 2006. p. 29-57.
- CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. **Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2006/07**. 2006. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 31 jan. 2007.
- GUILLEN-PORTAL, F.R.; RUSSELL, W.K.; BALTENSPERGER, D.D.; ESKRIDGE, K. M.; D'CROZ-MASON, N.E.; NELSON, L.A. Best types of maize hybrids for the western high plains of the USA. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 6, p. 2065-2070, 2003.
- LIN, C.S.; BINNS M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, n. 1, p. 193-198, 1988.
- MACHADO, J.C. **Estabilidade de produção e da capacidade de combinação em híbridos de milho**. 2007. 68f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed., Piracicaba: Nobel, 1990. 487 p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Áustria: R Foundation for Statistical Computing, 2006.
- RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 326p.
- RIBEIRO, P.H.E.; RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2213-2222, 2000.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. da; HORN, D.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C.; MOTTER, F. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 747-755, 2006.
- SASINSTITUTE. **SAS/STAT User's Guide, Version 8**. Cary, 2000.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- TRUBERG, B.; HUEHN, M. Contributions to the Analysis of Genotype x Environment Interactions: Comparison of Different Parametric and Non-parametric Tests for Interactions with Emphasis on Crossover Interactions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v. 185, n. 4, p.267-274, 2000.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- WRICKE, G.; WEBER, W.E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. New York: W. de Gruyter, 1986. 406 p.