

# Heterose e seus componentes em híbridos de populações $F_2$ de milho

Sergio Doná (1\*); Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani (2); Paulo Boller Gallo (3); Aildson Pereira Duarte (1)

(1) APTA, Polo Regional de Desenvolvimento do Médio Paranapanema, Caixa Postal 263, 19800-000 Assis (SP), Brasil.

(2) Instituto Agrônômico (IAC), Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, Av. Barão de Itapura, n.1481, 13020-902 Campinas (SP), Brasil.

(3) APTA, Polo Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, Caixa Postal 58, 13730-970 Mococa (SP), Brasil.

(\*) Autor correspondente: sergio@apta.sp.gov.br

Recebido: 15/abr./2011; Aceito: 2/maio/2011

## Resumo

Objetivou-se verificar o potencial de 28 híbridos de populações  $F_2$  de milho, obtidos de um dialelo completo, juntamente com oito populações  $F_2$  parentais e duas testemunhas comerciais quanto a caracteres agrônômicos e à heterose e seus componentes. Os experimentos foram desenvolvidos em 2008/2009, em Campinas, Mococa e Palmital, Estado de São Paulo, no delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. Avaliaram-se os caracteres florescimento masculino, altura da espiga e produtividade de grãos, que foi corrigida para 14% de umidade e estande ideal. Efetuaram-se análises de variância individuais e conjuntas, considerando-se o modelo fixo, sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey, além das análises dialélicas pelo modelo de Gardner e Eberhart (1966). Verificaram-se efeitos de heterose e seus componentes altamente significativos. Considerando-se a produtividade de grãos, as populações  $F_2$ AG8060,  $F_2$ Fort e  $F_2$ A2555 foram promissoras em combinações híbridas, com elevados valores de heterose de parental e a  $F_2$ DAS2B710 com o maior efeito de parental. Houve manifestação de heterose para produtividade de grãos com destaque para o híbrido  $F_2$ A2555 x  $F_2$ Fort, confirmando-se o potencial produtivo de híbridos de populações  $F_2$  como alternativa para a produção comercial de milho, visando aos produtores de média a baixa tecnologia.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, dialelo completo, GARDNER e EBERHART, produtividade.

## Heterosis and its components in $F_2$ populations of maize hybrids

### Abstract

The potential of 28 hybrids maize  $F_2$  population, obtained from a complete diallel among eight  $F_2$  populations, along with the eight parental  $F_2$  populations and two commercial controls were evaluated for agronomic traits, heterosis and its components. The experiments were developed in 2008/09, in Campinas, Mococa and Palmital, São Paulo State, Brazil. The experimental design was in randomized blocks, with three replications. The agronomic traits male flowering, ear height and grain yield were evaluated. The grain yield was adjusted to 14% of moisture. Individual and grouped variance analyses were made considering the fixed model, with the means being compared by the Tukey test. The Gardner and Eberhart (1966) model was used in the diallel analysis. It was observed that the effect of heterosis and its components were highly significant. Considering the grain yield, populations  $F_2$ AG8060,  $F_2$ Fort,  $F_2$ A2555 are promising in hybrid combinations, with high values of parental heterosis. The population  $F_2$ DAS2B710 had the greatest parental heterosis effects. There was heterosis manifestation for grain yield, mainly for hybrid  $F_2$ A2555 x  $F_2$ Fort. It was confirmed the potential of  $F_2$  population hybrids as an alternative to the commercial maize production with medium to low technological input.

**Key words:** *Zea mays*, complete diallel, GARDNER and EBERHART, yield.

## 1. INTRODUÇÃO

A produtividade média de grãos da cultura do milho na Região Centro-Sul brasileira é relativamente baixa, com valor de 4.685 kg ha<sup>-1</sup> na safra de 2008/2009 (CONAB, 2009). Este valor está abaixo do obtido nas lavouras brasileiras desenvolvidas com elevado nível tecnológico, que se aproxima ao da média norte-americana, 9.659 kg ha<sup>-1</sup> (USDA, 2010), maior produtor mundial deste cereal.

Do total de sementes de milho comercializadas no Brasil na safra de 2007/2008, 57,48% foram de híbridos simples (CRUZ e PEREIRA FILHO, 2010). Estes se destacam como os mais produtivos, porém o alto custo das sementes dificulta seu uso por produtores de nível tecnológico marginal ou baixo, que representam cerca de 67% da área cultivada no país (MATTOSE e MELO FILHO, 2006) e que utilizam variedades ou sementes de paiol de polinização aberta, um dos motivos da baixa produtividade no Brasil.

A obtenção de híbridos simples demanda um tempo elevado para se obter linhagens homozigóticas (MIRANDA FILHO e VIÉGAS, 1987; CARVALHO et al., 2003) e para que este híbrido chegue ao mercado. As autofecundações sucessivas e a avaliação das linhagens quanto à capacidade de combinação constituem as etapas mais trabalhosas e onerosas dos programas de híbridos de milho, encarecendo o preço final da semente híbrida. Este custo poderia ser reduzido pelo emprego da geração F<sub>2</sub> dos híbridos simples para a obtenção de híbridos duplos ou híbridos de F<sub>2</sub> (SOUZA SOBRINHO et al., 2002). Dessa forma, seriam eliminadas as etapas de obtenção e a manutenção das linhagens parentais do híbrido, pois seriam produzidas apenas as gerações F<sub>2</sub> de cada parental, as quais poderiam ser mantidas em lotes isolados e utilizadas todos os anos para a obtenção do híbrido de F<sub>2</sub>.

SOUZA SOBRINHO et al. (2002) testaram a utilização da geração F<sub>2</sub> de populações oriundas de híbridos simples, para produzir híbridos duplos de F<sub>2</sub> e constataram que estes híbridos têm desempenho muito semelhante àqueles derivados da geração F<sub>1</sub> de híbridos simples. Posteriormente, AMORIM e SOUZA (2005) identificaram híbridos F<sub>2</sub> intrapopulacionais com produtividade média de grãos superior a 10 t ha<sup>-1</sup>.

HALLAUER e MIRANDA FILHO (1981) apresentaram resultados de 1.394 cruzamentos intervarietais, obtendo heteroses médias em relação à média dos pais de 19,5%, para produção de grãos, evidenciando que pode existir grande potencial para a exploração da heterose em populações e variedades de milho. A manifestação de heterose nos híbridos depende de genes com algum grau de dominância (parcial, completa ou sobredominância) e também das diferenças entre frequências gênicas nas populações genitoras (MIRANDA FILHO e VIÉGAS, 1987).

O potencial heterótico de variedades e de populações de milho em combinações híbridas pode ser avaliado pela utilização e análise de cruzamentos dialélicos. Dentre os métodos de análise dialélica tem-se a proposta

por GRIFFING (1956), na qual são estimados os efeitos de capacidade geral e específica de combinação e a de GARDNER e EBERHART (1966) que visa avaliar o potencial de variedades *per se* e em combinações híbridas, por meio de estimativas de efeitos varietais e da heterose manifestada no híbrido (CRUZ, 2006).

O uso destes métodos tem possibilitado a diversos autores a escolha de populações e híbridos mais promissores, com base na capacidade de combinação dos parentais e no potencial heterótico das combinações híbridas (GORGULHO e MIRANDA FILHO, 2001; SILVA e MIRANDA FILHO, 2003; OLIVEIRA et al., 2004).

GARDNER e EBERHART (1966) apresentaram um método para análise de tabelas dialélicas não só de linhagens, como também para variedades e populações, permitindo um estudo mais detalhado da heterose. A análise de cruzamentos dialélicos oferece ao melhorista grande número de informações genéticas que vêm sendo utilizadas, visando avaliar o potencial heterótico de variedades e de populações de milho em combinações híbridas, possibilitando a escolha de populações mais promissoras, com base na capacidade de combinação dos parentais (GORGULHO e MIRANDA FILHO, 2001; SILVA e MIRANDA FILHO, 2003; OLIVEIRA et al., 2004).

Diferenças na capacidade de combinação de populações F<sub>2</sub> de milho proporcionam diferentes níveis de heterose e de produtividade de grãos em seus híbridos. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivos identificar híbridos promissores de populações F<sub>2</sub> de milho, oriundos de gerações F<sub>2</sub> de híbridos simples comerciais, quanto a caracteres agrônômicos e estimar parâmetros genéticos dos parentais e a heterose dos híbridos e seus componentes utilizando-se o método de GARDNER e EBERHART (1966).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Oito populações F<sub>2</sub> de milho, denominadas de P1 a P8, obtidas pela autofecundação de híbridos simples comerciais, foram cruzadas em esquema dialélico balanceado, incluindo híbridos e parentais, obtendo-se 28 híbridos de F<sub>2</sub>. Uma breve descrição dos híbridos simples utilizados está contida na tabela 1. Para cada um dos cruzamentos,

**Tabela 1.** Descrição dos híbridos simples (HS) comerciais de milho utilizados para obtenção das populações F<sub>2</sub>

Cultivar	Empresa	Populações	Aparência dos grãos
AG 8060	Monsanto	P1	D
Fort	Syngenta Seeds	P2	SD
DAS 2B710	Dow AgroSciences	P3	SD
30F87	Pioneer	P4	SDT
A 2555	Bayer Seeds	P5	SDT
AS 1548	Agroeste	P6	D
30K75	Pioneer	P7	SD
DKB 330	Dekalb	P8	SDT

D = duro; SD = semiduro; SDT = semimentado.

utilizaram-se como genitor feminino, populações F<sub>2</sub> semeadas em 2 linhas de 10 m de comprimento; no florescimento, foram coletados polens de aproximadamente cem plantas do genitor masculino, sendo misturados e utilizados para realização das polinizações. Não foram efetuados cruzamentos recíprocos.

Os 28 híbridos de populações F<sub>2</sub> mais as oito populações F<sub>2</sub> parentais e as testemunhas comerciais foram avaliados em 2008/2009, sob delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições, sendo cada parcela constituída por duas linhas de 5 m espaçadas de 0,85 m, com um total de 50 plantas. Por ocasião do plantio, foram aplicados 350 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 08-28-16 + 0,5% de Zn e, aos 25 a 30 dias após semeadura foi realizada adubação de cobertura com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (45% N) a lanço, em Campinas; 250 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (45% N) incorporada em Mococa e 312,5 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio (32% N) a lanço, em Palmital.

As testemunhas empregadas foram IAC 8333, um híbrido comercial resultado do cruzamento de dois sintéticos de alta divergência genética e de boas características agronômicas, e o DKB 350, híbrido triplo representativo em área e produtividade no Estado de São Paulo.

Os experimentos foram realizados em Campinas (latitude 22° 54' S longitude 47° 3' W e altitude de 600 m), Mococa (latitude 21° 28' S longitude 47° 01' W e altitude de 665 m) e Palmital (latitude 22° 48' S longitude 50° 14' W e altitude de 501 m). Os experimentos foram semeados em Campinas e Mococa, na primeira quinzena de novembro de 2008 e em Palmital durante a segunda quinzena de outubro de 2008.

Foram avaliados os caracteres agronômicos florescimento masculino (FM), altura da espiga (AE) e produtividade de grãos (PG) por parcela, transformada em kg ha<sup>-1</sup> e corrigida para 14% de umidade e estande ideal de 50 plantas por parcela, empregando-se o método da covariância (VENCOSKY e BARRIGA, 1992);

Análises de variância individuais e conjuntas foram efetuadas, considerando-se o modelo fixo e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para análise conjunta, considerou-se a homogeneidade das variâncias através dos quadrados médios (QM's) dos resíduos de acordo com BANZATTO e KRONKA (2006), que consideram que a razão entre o maior e o menor quadrado médio (QM) dos resíduos sendo menor que sete é uma indicação de resíduos homogêneos.

Para análise dialélica foi utilizado o método de GARDNER e EBERHART (1966), de acordo com o modelo 4:

$$Y_{ij} = m + (p_i + p_j)/2 + \theta (\bar{h} + h_i + h_j + s_{ij}) + \epsilon_{ij}$$

em que Y<sub>ij</sub>: valor médio observado em um parental (i = j) ou em uma combinação híbrida (i ≠ j); m: média das populações parentais; p<sub>i</sub>: efeito do parental i; p<sub>j</sub>: efeito do parental j; θ = 0, quando i = j e θ = 1, quando i ≠ j;  $\bar{h}$ :

efeito da heterose média; h<sub>i</sub>: efeito da heterose do parental i; h<sub>j</sub>: efeito da heterose do parental j; s<sub>ij</sub>: efeito da heterose específica; e ε<sub>ij</sub>: erro experimental médio.

As análises foram efetuadas empregando o programa Genes (CRUZ, 2006), adaptando-se o modelo para vários ambientes. Também estimou-se a heterose em relação à média dos pais para produtividade de grãos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatada a homogeneidade dos QM's dos resíduos, efetuou-se a análise de variância conjunta para os três locais, havendo diferenças significativas (p<0,01) entre os tratamentos e locais para FM, AE, e PG (Tabela 2). O efeito da interação tratamentos x locais foi significativo para FM, PG (p<0,01) e AE (p<0,05), considerando-se as médias por local destas variáveis para comparação e discussão dos resultados (Tabela 3).

Destacaram-se como mais tardios os híbridos P4 x P2 e as populações P4 e P5 em Campinas, Mococa e Palmital e o híbrido P5 x P1 em Mococa (Tabela 3). Como mais precoces, destacaram-se os híbridos P6 x P2 em Campinas e Palmital, P6 x P3 e P7 x P6 em Mococa e Palmital, P8 x P7 e P6 x P5 somente em Mococa e Palmital respectivamente. Ressalta-se que a média do FM dos híbridos de F<sub>2</sub> foram muito próximas da média das testemunhas comerciais de ciclo precoce, evidenciando que as populações em estudo atendem a objetivos propostos por programas de melhoramento de obtenção de híbridos mais precoces.

Os híbridos P4 x P2, em Campinas e P5 x P2, em Mococa e Palmital, tiveram maior valor de AE (Tabela 3). O menor valor de AE foi observado para P8 x P3, em Campinas e Mococa, entretanto, não se diferenciando estatisticamente das testemunhas comerciais.

A produtividade média observada foi de 8.415 kg ha<sup>-1</sup>, 7.721 kg ha<sup>-1</sup> e 6.332 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente em Campinas,

**Tabela 2.** Análise de variância conjunta dos caracteres florescimento masculino (FM), altura da espiga (AE) e produtividade de grãos (PG) de 28 híbridos de populações F<sub>2</sub> de milho, de oito parentais e mais duas testemunhas comerciais. Campinas, Mococa e Palmital, em 2008/2009

FV	Quadrados médios			
	GL	FM (d.a.s.) <sup>(2)</sup>	AE (cm)	PG <sup>(1)</sup> (t ha <sup>-1</sup> )
Blocos/Locais	6	13,42	406,59	3,53
Tratamentos (T)	37	35,09**	788,96**	13,07**
Locais (L)	2	4194,89**	61128,88**	128,25**
T x L	74	3,35**	145,23*	0,81**
Resíduo	222	1,49	100,33	0,49
Média		66,97	107,11	7,49
CV(%)		1,82	9,35	9,33

\* e \*\*: significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

(<sup>1</sup>) Corrigido para 14% de umidade estande ideal pelo método da covariância.

(<sup>2</sup>) d.a.s.= dias após semeadura.

Mococa e Palmital (Tabela 3). O desempenho dos híbridos foi satisfatório, com destaque para os cruzamentos P5 x P3, P2 x P1 e P5 x P2, respectivamente, em Campinas, Mococa e Palmital. Ressalta-se que oito híbridos de F<sub>2</sub> em Campinas, cinco em Mococa e dois em Palmital tiveram PG maior (0,5% a 13%) que a média das testemunhas comerciais, evidenciando potencial de produção satisfatório, bem como a viabilidade de utilização dos híbridos de

populações F<sub>2</sub> de milho em cultivos comerciais. Essa viabilidade também foi constatada por AMORIM e SOUZA (2005) que obtiveram híbridos a partir de populações F<sub>2</sub> de híbridos simples comerciais superiores à média das testemunhas comerciais. SOUZA SOBRINHO et al. (2002) também constataram que alguns híbridos duplos de F<sub>2</sub> avaliados foram tão produtivos quanto os melhores híbridos simples recomendados para a Região Sul de Minas Gerais.

**Tabela 3.** Médias de florescimento masculino (FM), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG) de 28 híbridos de populações F<sub>2</sub> de milho, dos oito parentais e duas testemunhas comerciais, em Campinas, Mococa e Palmital, em 2008/2009

Híbridos/ populações F <sub>2</sub>	FM			AE			PG		
	Camp. (d.a.s.)	Moc. (d.a.s.)	Palm. (d.a.s.)	Camp. (cm)	Moc. (cm)	Palm. (cm)	Camp. (kg ha <sup>-1</sup> )	Moc. (kg ha <sup>-1</sup> )	Palm. (kg ha <sup>-1</sup> )
P5 x P3	70 a-f	64 a-c	69 f-k	128 d-i	107 a-d	87 a-c	10.606 a	8.965 ab	7.570 a-e
P5 x P2	71 a-e	63 a-c	72 c-f	157 ab	131 a	110 a	10.309 ab	8.802 ab	8.153 ab
P5 x P1	71 a-e	66 ab	71 d-h	149 a-e	129 ab	95 a-c	10.217 ab	9.001 ab	7.064 a-e
P2 x P1	69 c-h	63 a-c	71 e-i	153 a-c	126 ab	102 ab	10.056 a-c	9.115 ab	7.106 a-e
P5 x P4	70 b-g	64 a-c	74 a-c	131 c-i	108 a-d	88 a-c	9.878 a-d	8.757 a-c	7.215 a-e
P4 x P1	70 a-f	63 a-c	71 e-i	150 a-d	114 a-d	92 a-c	9.642 a-e	8.976 ab	8.044 a-c
P7 x P3	67 e-i	62 bc	68 h-k	128 d-i	94 a-d	88 a-c	9.588 a-e	7.831 a-h	7.279 a-e
P4 x P2	72 a-c	66 ab	74 a-d	160 a	111 a-d	100 ab	9.583 a-e	8.942 ab	7.085 a-e
P6 x P3	65 ij	60 c	67 k	117 g-i	93 a-d	75 bc	9.381 a-e	6.860 b-h	6.815 a-e
P3 x P1	69 c-i	63 a-c	70 e-k	137 a-i	116 a-c	92 a-c	9.348 a-e	7.487 a-h	5.892 d-g
P3 x P2	67 e-i	62 bc	69 g-k	131 c-i	97 a-d	92 a-c	9.208 a-e	6.997 b-h	6.172 c-g
P7 x P1	69 c-i	63 a-c	68 h-k	145 a-f	106 a-d	88 a-c	9.077 a-f	8.476 a-e	6.472 a-e
P6 x P1	67 e-i	62 bc	68 h-k	130 c-i	101 a-d	85 a-c	8.990 a-f	8.592 a-d	6.736 a-e
P6 x P5	68 d-i	62 bc	67 k	123 f-i	101 a-d	75 bc	8.818 a-g	7.409 a-h	6.892 a-e
P4 x P3	70 b-g	62 bc	70 e-k	124 f-i	96 a-d	88 a-c	8.807 a-h	8.439 a-e	6.805 a-e
P6 x P2	62 j	62 bc	67 k	124 f-i	96 a-d	93 a-c	8.794 a-h	6.955 b-h	6.296 b-g
P7 x P5	68 d-i	62 bc	68 h-k	128 d-i	99 a-d	87 a-c	8.766 a-i	8.194 a-f	7.032 a-e
P7 x P2	68 d-i	61 c	68 h-k	131 c-i	95 a-d	95 a-c	8.619 a-i	8.306 a-e	7.794 a-d
P8 x P2	68 d-i	61 c	68 h-k	134 b-i	117 a-c	80 a-c	8.536 a-i	8.069 a-g	6.685 a-e
P7 x P4	70 b-g	62 bc	68 h-k	138 a-i	114 a-d	80 a-c	8.517 a-i	8.404 a-e	7.531 a-e
P6 x P4	67 e-i	61 c	69 g-k	137 a-i	84 cd	82 a-c	8.357 a-j	7.783 a-h	6.290 b-g
P8 x P1	69 c-h	63 a-c	70 e-k	139 a-h	86 cd	63 c	8.263 a-j	8.216 a-f	6.359 a-f
P7 x P6	67 e-i	60 c	67 k	126 d-i	92 b-d	90 a-c	8.200 b-k	7.614 a-h	7.347 a-e
P8 x P7	67 f-i	60 c	68 h-k	123 f-i	101 a-d	88 a-c	8.181 b-k	8.140 a-g	6.494 a-e
P8 x P6	65 ij	61 c	68 h-k	125 d-i	107 a-d	82 a-c	7.989 b-k	8.186 a-f	5.820 e-g
P8 x P3	66 hi	61 c	69 g-k	113 i	77 d	77 a-c	7.609 d-l	8.175 a-f	6.533 a-e
P8 x P5	68 d-i	63 a-c	69 f-k	125 e-i	107 a-d	83 a-c	7.514 e-l	7.923 a-h	6.832 a-e
P8 x P4	69 c-i	63 a-c	68 h-k	131 c-i	95 a-d	95 a-c	6.803 f-l	7.163 b-h	5.869 d-g
Média dos híbridos	68,21	62,33	69,19	133,46	103,55	87,56	8.916	8.135	6.864
P1	71 a-d	66 ab	72 c-g	122 f-i	102 a-d	77 a-c	5.311 l	6.095 d-h	3.555 h
P2	71 a-e	63 a-c	73 b-e	141 a-g	96 a-d	93 a-c	6.052 j-l	5.694 f-h	3.764 h
P3	69 c-i	63 a-c	69 g-k	125 e-i	101 a-d	80 a-c	7.797 c-k	6.797 b-h	6.057 d-g
P4	74 a	66 ab	76 ab	141 a-g	100 a-d	100 ab	6.467 h-l	6.206 c-h	4.499 f-h
P5	73 ab	67 a	76 a	137 a-i	107 a-d	95 a-c	5.867 kl	6.040 d-h	3.486 h
P6	66 g-i	62 bc	68 ik	115 hi	78 cd	85 a-c	6.437 i-l	5.448 h	3.690 h
P7	69 c-h	63 a-c	70 e-j	128 d-i	92 b-d	83 a-c	6.579 g-l	5.987 e-h	4.370 gh
P8	70 b-g	63 a-c	69 f-k	123 f-i	84 cd	77 a-c	6.764 f-l	5.578 gh	3.387 h
Média dos parentais	70,50	64,04	71,50	129,00	94,96	86,25	6.409	5.981	4.101
DKB 350	67 f-i	63 a-c	67 k	129 c-i	98 a-d	83 a-c	9.636 a-e	8.282 a-e	8.260 a
IAC 8333	68 d-i	61 c	68 i-k	138 a-i	104 a-d	88 a-c	9.198 a-e	9.515 a	7.371 a-e
Média	68,64	62,68	69,59	132,52	101,61	87,19	8.415	7.721	6.332
CV (%)	1,76	2,26	1,43	5,71	11,50	11,87	8,50	10,10	9,28

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

d.a.s.: dias após semeadura. P1: F<sub>2</sub>AG8060; P2: F<sub>2</sub>Fort; P3: F<sub>2</sub>DAS2B710; P4: F<sub>2</sub>30F87; P5: F<sub>2</sub>A2555; P6: F<sub>2</sub>AS1548; P7: F<sub>2</sub>30K75; P8: F<sub>2</sub>DKB330.

Na análise dialélica, os QM's dos efeitos de parental e de heterose foram significativos para todos os caracteres, indicando que há variabilidade entre os parentais e a manifestação de heterose em seus híbridos para FM, AE e PG (Tabela 4). O desdobramento dos QM's dos efeitos de heterose em heterose média  $\bar{h}$ , de parentais ( $h_i$ ) e específica ( $s_{ij}$ ) revelou significância dos efeitos de heterose média  $\bar{h}$  e específica ( $s_{ij}$ ) para todos os caracteres e da heterose de parental ( $h_i$ ) somente para AE e PG.

A significância para  $\bar{h}$  indica que há suficiente diversidade genética entre as populações, resultando em situação favorável à aplicação do melhoramento genético visando à obtenção de híbridos (KVITSCHAL et al., 2004). A significância dos efeitos de  $h_i$  mostra que existe variação na contribuição de cada genitor para o desempenho dos híbridos, indicando dispersão nas frequências alélicas das populações (OLIVEIRA et al., 2004), fato evidenciado para AE e PG.

A significância dos efeitos de  $s_{ij}$  indica que há presença de efeitos de dominância e epistasia na manifestação da produtividade de grãos, altura de espiga e florescimento masculino. De acordo com VENCovsky e BARRIGA (1992) esta significância evidencia existência de complementações específicas entre pares de genitores, em locos com algum efeito de dominância alélica, contribuindo para o melhor desempenho de certas combinações híbridas, onde um supre a deficiência genômica do outro.

A significância dos QM's de PG para  $p_i$ ,  $\bar{h}$ ,  $h_i$  e  $s_{ij}$  (Tabela 4), corrobora com os resultados de SILVA e MIRANDA FILHO (2003) e SCAPIM et al. (2002), que utilizaram diferentes populações de milho e de milho pipoca. Quanto a FM e

AE, GARBUGLIO e ARAÚJO (2006), avaliando híbridos oriundos do cruzamento entre sete variedades de milho, não observaram significância dos QM's da heterose para FM e AE; assim como GORGULHO e MIRANDA FILHO (2001) também não verificaram significância de heterose para AE.

GARDNER et al. (1953) e COMSTOCK e ROBINSON (1948) relataram que nos caracteres altura de planta e altura de espiga existe predominância de efeitos aditivos e dominância apenas parcial. Dessa forma, a significância para heterose verificada neste experimento diverge do constatado por outros autores e indica que, entre os parentais utilizados existe suficiente divergência das frequências gênicas, pelo menos em parte dos locos com dominância.

Em relação à decomposição da soma de quadrados da heterose na análise de variância, pode-se observar que para PG, os efeitos de  $\bar{h}$ ,  $h_i$  e  $s_{ij}$  corresponderam, respectivamente, a 82%, 10% e 8% do total dos seus efeitos. Nota-se contribuição maior da heterose média em relação aos demais efeitos, evidenciando existência de expressiva superioridade dos híbridos de F<sub>2</sub> em relação à média das populações parentais. A magnitude destes efeitos corrobora com os de GARBUGLIO e ARAÚJO (2006), que avaliaram híbridos intervarietais de milho e detectaram efeitos semelhantes para PG, entretanto, diverge dos resultados observados por KVITSCHAL et al. (2004) que verificaram contribuição maior da heterose varietal, em relação à heterose média, em trabalho que avaliou a capacidade geral de combinação de seis populações de milho e os efeitos heteróticos manifestados em seus híbridos.

Para FM, a partição da soma de quadrados da heterose também revelou maior contribuição dos efeitos da heterose média, (63%) enquanto para AE, houve superioridade dos efeitos de  $s_{ij}$  (60%). Estes resultados divergem dos detectados por GORGULHO e MIRANDA FILHO (2001) e GARBUGLIO e ARAÚJO (2006) para AE, os quais verificaram significância apenas para efeitos de variedades, concluindo que no controle deste caráter há predominância de efeitos aditivos e de dominância apenas parcial. Ressalta-se que estes últimos autores utilizaram variedades, e não híbridos de populações, o que pode explicar as diferenças dos resultados.

Quanto às interações entre os efeitos de heterose com locais, observou-se que para FM, somente o efeito da heterose específica propiciou interação significativa; para AE, não foram significativos; para PG, verificou-se significância das interações entre a heterose média e de parental com os locais, enquanto os efeitos de heterose específica mantiveram-se constantes nos diferentes locais (Tabela 4). As estimativas dos efeitos de parental ( $\hat{p}_i$ ), heteroses média ( $\hat{h}$ ) e de parental ( $\hat{h}_i$ ) e heterose específica ( $\hat{s}_{ij}$ ) estão apresentadas, respectivamente, nas tabelas 5, 6 e 7. A população P3 proporcionou as maiores estimativas de  $\hat{p}_i$  para PG e estimativas favoráveis no sentido de redução do porte (AE) e do intervalo entre a semeadura e o florescimento masculino (Tabela 5). Esta população reuniu efeitos de  $\hat{p}_i$  favoráveis nos três locais avaliados, quanto a AE,

**Tabela 4.** Análise dialélica conjunta, de acordo com o método de Gardner e Eberhart (1966), para florescimento masculino (FM), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG) de 28 híbridos de gerações F<sub>2</sub> de milho, dos experimentos de Campinas, Mococa e Palmital, em 2008/2009

FV	Quadrados Médios			
	GL	FM (d.a.s.)	AE (cm)	PG (t ha <sup>-1</sup> )
Tratamentos (T)	35	36,01**	828,63**	13,01**
Parental (P)	7	123,93**	2429,75**	5,46**
Heterose (H)	28	14,03**	428,35**	14,89**
H. média	1	247,38**	1283,62**	342,94**
H. parental	7	2,96	491,35**	5,68**
H. específica	20	6,24**	363,54**	1,72**
Local (L)	2	4023,97**	57610,02**	124,59**
T x L	70	3,34**	153,15*	0,79**
P x L	14	5,06**	227,45**	1,21**
H x L	56	2,92**	134,58	0,68*
H. média x L	2	2,16	248,75	1,74*
H. parental x L	14	1,74	105,42	1,25**
H. específica x L	40	3,36**	139,07	0,43
Resíduo Combinado	210	1,52	100,65	0,50
Média		67,05	107,13	7,42
CV (%)		1,84	9,37	9,56

\* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% respectivamente, pelo teste F.  
d.a.s: dias após semeadura.

**Tabela 5.** Estimativas dos efeitos de parental  $\hat{p}_i$  para os caracteres florescimento masculino (FM), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG) de oito populações  $F_2$  de milho oriundas de híbridos comerciais, em Campinas, Mococa e Palmital, em 2008/2009

Populações $F_2$	FM (d.a.s.)			AE (cm)			PG (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Campinas	Mococa	Palmital	Campinas	Mococa	Palmital	Campinas	Mococa	Palmital
P1	0,83	1,63	0,17	-7,33	6,71	-9,58	-1,098	114	-546
P2	0,17	-1,04	1,17	12,33	1,04	7,08	-357	-287	-337
P3	-1,50	-1,04	-2,83	-4,00	5,71	-6,25	1.388	816	1.956
P4	3,50	1,63	4,17	12,00	5,37	13,75	58	225	398
P5	2,83	2,96	4,50	7,67	12,04	8,75	-542	59	-615
P6	-4,17	-2,04	-3,83	-13,67	-16,63	-1,25	28	-533	-411
P7	-1,17	-1,04	-1,17	-1,33	-3,29	-2,92	170	6	269
P8	-0,50	-1,04	-2,17	-5,67	-10,96	-9,58	355	-403	-714
DP ( $\hat{p}_i$ )	0,67	0,76	0,55	4,06	6,25	5,70	392	426	325
DP $\hat{p}_i - \hat{p}_i$	1,01	1,15	0,83	6,14	9,45	8,62	592	644	492

d.a.s: dias após semeadura.

P1: F<sub>2</sub>AG8060; P2: F<sub>2</sub>Fort; P3: F<sub>2</sub>DAS2B710; P4: F<sub>2</sub>30F87; P5: F<sub>2</sub>A2555; P6: F<sub>2</sub>AS1548; P7: F<sub>2</sub>30K75; P8: F<sub>2</sub>DKB330.**Tabela 6.** Estimativas dos efeitos de heterose média ( $\hat{h}$ ) e de parental ( $\hat{h}_i$ ) para os caracteres florescimento masculino (FM) e altura de espiga (AE), considerando a média de três locais e produtividade de grãos (PG), em Campinas, Mococa e Palmital, em 2008/2009

Populações $F_2$	$\hat{h}_i$				
	FM (d.a.s.)	AE (cm)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )		
			Campinas	Mococa	Palmital
P1	0,52	8,68	1.079	429	211
P2	0,29	5,67	627	184	376
P3	0,48	-5,74	-338	-773	-1.141
P4	-0,17	-2,63	-167	141	-67
P5	-0,41	-0,59	887	321	760
P6	-0,26	-2,19	-328	-325	-103
P7	-0,30	-0,69	-329	0,3	183
P8	-0,15	-2,50	-1.431	23	-219
DP ( $\hat{h}_i$ )	0,43	3,50	253	275	210
DP ( $\hat{h}_i - \hat{h}_i$ )	0,65	5,29	382	416	317
Heterose média ( $\hat{h}$ )	-2,10	4,79	2.507	2.154	2.763
Heterose média (%h)	-3,20	4,60	39	36	67
DP ( $\hat{h}$ )	0,28	2,32	168	183	139

d.a.s: dias após semeadura.

P1: F<sub>2</sub>AG8060; P2: F<sub>2</sub>Fort; P3: F<sub>2</sub>DAS2B710; P4: F<sub>2</sub>30F87; P5: F<sub>2</sub>A2555; P6: F<sub>2</sub>AS1548; P7: F<sub>2</sub>30K75; P8: F<sub>2</sub>DKB330.

FM e PG, podendo ser indicada para seleção recorrente intrapopulacional e obtenção de linhagens em programas de melhoramento genético de milho.

As estimativas de heterose média ( $\hat{h}$ ) (Tabela 6) indicam que para FM, a manifestação da heterose foi predominante no contexto de reduzir o intervalo entre a semeadura e o FM, enquanto para AE e PG, foi predominante para aumentar seus valores. De acordo com CRUZ et al. (2004), cruzamentos envolvendo parentais com maior efeito de  $\hat{h}_i$  resultarão em combinações híbridas mais heteróticas. Desse modo, se o objetivo do programa de melhoramento for obter híbridos com maior produtividade de grãos, associado ao menor porte e à maior precocidade, entre as populações avaliadas, a P5 é a que reúne efeitos de  $\hat{h}_i$  mais favoráveis.

O híbrido P5 x P3 proporcionou o maior efeito de  $\hat{s}_{ij}$  (660 kg ha<sup>-1</sup>) para PG (Tabela 7). Entretanto, para AE, o menor valor foi para o híbrido P8 x P1, enquanto para

FM, destacaram-se os híbridos P6 x P2 em Campinas, P4 x P1 em Mococa e P8 x P4 em Palmital. Neste grupo de híbridos evidencia-se a dificuldade em se encontrar, em um mesmo híbrido, complementações favoráveis a estas características, em locos com efeitos de dominância.

De acordo com o modelo de GARDNER e EBERHART (1966), os melhores híbridos serão aqueles que reunirem um conjunto maior de efeitos favoráveis para a característica desejada. O híbrido P5 x P3 destacou-se quanto à produtividade de grãos por reunir os efeitos de  $\hat{p}_i$  favoráveis do parental P3, os efeitos de  $\hat{h}_i$  favoráveis do parental P5 e efeito de  $\hat{s}_{ij}$  relativamente alto.

Com relação à porcentagem de heterose (H%), destacaram-se os híbridos P5 x P2, P5 x P1 e P2 x P1, na média dos três locais, com valores relativamente altos (Tabela 7). A porcentagem de heterose obtida, considerando a média dos três locais, foi de 47%. Este resultado pode ser

**Tabela 7.** Estimativas dos efeitos de heterose específica ( $\hat{\xi}_{ij}$ ) de 28 híbridos de gerações F<sub>2</sub> de milho para florescimento masculino (FM), em Campinas, Mococa e Palmital, e para altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG), considerando as médias dos três locais, em 2008/2009

Híbridos	FM (d.a.s)			AE (cm)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )	H% (°)
	Campinas	Mococa	Palmital	Média	Média	
P2 x P1	0,01	-0,61	-0,02	2,64	237	75
P3 x P1	-0,15	-0,06	0,53	6,11	-656	27
P4 x P1	-0,83	-1,17	-0,75	0,94	515	70
P5 x P1	0,01	0,89	-0,08	5,23	-2	77
P6 x P1	0,62	-0,06	-0,03	-2,39	221	63
P7 x P1	-0,54	0,67	-0,47	-0,34	-307	52
P8 x P1	0,89	0,33	0,81	-12,19	-8	54
P3 x P2	-0,66	-0,22	-0,64	-4,32	-687	24
P4 x P2	2,34	2,34	2,42	3,96	250	58
P5 x P2	1,18	-0,94	1,09	11,25	411	83
P6 x P2	-3,88	0,78	-0,86	-5,27	-451	45
P7 x P2	0,28	-0,50	-0,63	-8,21	10	57
P8 x P2	0,73	-0,83	-1,36	-0,06	229	54
P4 x P3	0,51	-0,78	-0,69	-1,58	20	27
P5 x P3	1,34	0,94	-0,69	1,16	660	51
P6 x P3	0,28	-0,67	0,03	0,86	176	28
P7 x P3	-0,22	1,06	0,92	3,70	293	32
P8 x P3	-1,10	-0,28	0,54	-5,93	194	25
P5 x P4	-1,66	-0,17	2,36	-5,89	90	61
P6 x P4	-0,38	-0,78	-0,24	-2,52	-173	39
P7 x P4	0,12	-0,06	-1,36	1,87	71	46
P8 x P4	-0,10	0,61	-1,75	3,23	-773	24
P6 x P5	0,79	-0,06	-1,58	-5,34	-334	55
P7 x P5	-1,05	-0,67	-0,69	-5,84	-473	52
P8 x P5	-0,60	0,00	-0,41	-0,58	-352	51
P7 x P6	1,90	0,06	1,36	3,98	128	47
P8 x P6	0,67	0,72	1,31	10,68	434	45
P8 x P7	-0,49	-0,56	0,87	4,85	277	44
DP ( $\hat{\xi}_{ij}$ )	0,60	0,69	0,49	4,89	346	-
DP ( $\hat{\xi}_{ij} - \hat{\xi}_{ik}$ )	0,92	1,05	0,75	7,48	529	-
DP ( $\hat{\xi}_{ij} - \hat{\xi}_{kl}$ )	0,82	0,94	0,67	6,69	473	-

d.a.s: dias após semeadura.

(°) Porcentagem de heterose em relação à média dos parentais, considerando a média de Campinas, Mococa e Palmital.

P1: F<sub>2</sub>AG8060; P2: F<sub>2</sub>Fort; P3: F<sub>2</sub>DAS2B710; P4: F<sub>2</sub>30F87; P5: F<sub>2</sub>A2555; P6: F<sub>2</sub>AS1548; P7: F<sub>2</sub>30K75; P8: F<sub>2</sub>DKB330.

considerado de boa magnitude, quando comparado ao valor de 19,5% apresentado por HALLAUER e MIRANDA FILHO (1981), referente a 1.394 cruzamentos intervarietais de milho e evidencia que há divergência entre as populações F<sub>2</sub> de milho utilizadas neste experimento. É provável que os altos valores de H% sejam porque estas populações, oriundas de gerações F<sub>2</sub> de híbridos simples, possuem base genética mais estreita, com certo grau de endogamia, o que acarreta em alta expressão da heterose quando combinadas (SILVA e MIRANDA FILHO, 2003).

#### 4. CONCLUSÃO

As populações P1 (F<sub>2</sub>AG8060), P2 (F<sub>2</sub>Fort) e P5 (F<sub>2</sub>A2555) são promissoras em combinações híbridas visando à maior produtividade, com elevados efeitos de heterose de parental para produtividade de grãos, enquanto a população

P3 (F<sub>2</sub>DAS2B710) é a que proporciona combinações híbridas de menor porte e altura de espiga. A população P3 (F<sub>2</sub>DAS2B710) possui bom potencial *per se* e pode ser indicada para seleção recorrente intrapopulacional e obtenção de linhagens em programas de melhoramento de milho.

Há manifestação de heterose entre os híbridos de populações F<sub>2</sub> para produtividade de grãos e confirma-se o potencial produtivo destes híbridos como alternativa para a produção comercial de milho, visando aos produtores de média a baixa tecnologia, com destaque para os cruzamentos P5 x P3 (F<sub>2</sub>A2555 x F<sub>2</sub>DAS2B710), P5 x P2 (F<sub>2</sub>A2555 x F<sub>2</sub>Fort), P5 x P1 (F<sub>2</sub>A2555 x F<sub>2</sub>AG8060).

#### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, E.P.; SOUZA, J.C. Híbridos de milho inter e intrapopulacionais obtidos a partir de populações  $S_0$  de híbridos simples comerciais. *Bragantia*, v.64, p.561-567, 2005.
- BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. 4.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.
- CARVALHO, A.D.F.; SOUZA, J.C.; RIBEIRO, P.H. Desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em regiões dos Estados de Roraima e Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.27, p.985-990, 2003.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2009. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12\\_levantamento\\_set2009.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12_levantamento_set2009.pdf). Acesso em: 21/11/2009.
- COMSTOCK, R.E.; ROBINSON, H.F. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics*, v.4, p.254-266, 1948.
- CRUZ, C.D. Programa GENES: biometria. Viçosa: UFV, 2006, 382p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético. v.1. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.
- CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Cultivo do Milho. [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_5ed/cultivares.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_5ed/cultivares.htm). Acesso em 20/4/ 2010.
- GARBUGLIO, D.D.; ARAÚJO, P.M. Avaliação de Híbridos Intervarietais de Milho por Meio de Cruzamento Dialélico Parcial, Considerando Quatro Ambientes. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, p.379-392, 2006.
- GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diall and related populations. *Biometrics*, v.22, p.439-452, 1966.
- GARDNER, C.O.; HARVEY, P.H.; COMSTOCK, R.E. Dominance of genes controlling quantitative characters in maize. *Biometrics*, v.45, p.186-191, 1953
- GORGULHO, E.P.; MIRANDA FILHO, J.B. Estudo da capacidade combinatória de variedades de milho no esquema de cruzamento dialélico parcial. *Bragantia*, v.60, p.1-8, 2001.
- GRIFFING, J.B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel systems. *Australian Journal of Biological Science*, v.9, p.463-493, 1956
- KVITSCHAL, M.V.; SCAPIM, C.A.; TONET, A.; PINTO, R.J.B.; RETUCI, V.S.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; BRACCINI, A.L.. Análise dialélica de populações de milho na região noroeste do Paraná, na “safrinha”. *Revista Ceres*, v.51, p.19-32, 2004.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. Quantitative genetics in maize breeding. Ames: Iowa State University Press, 468p. 1981.
- MATTOSO, M.J.; MELO FILHO, G.A. Cultivo do Milho. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_2ed/coeficientestecnicos.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/coeficientestecnicos.htm). Acesso em: 28/9/2010.
- MIRANDA FILHO, J.B.; VIÉGAS, G.P. Milho híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Ed.). Melhoramento e produção do milho. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.277-326, 1987.
- OLIVEIRA, J.P.; CHAVES, L.J.; DUARTE, J.B.; BRASIL, E.M.; FERREIRA JUNIOR., L. F.; RIBEIRO, K.O. Teor de proteína no grão em populações de milho de alta qualidade protéica e seus cruzamentos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.34, p.45-51, 2004.
- SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; TONET, A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J.B. Análise dialélica e heterose de populações de Milho-Pipoca. *Bragantia*, v.61, p.219-230, 2002.
- SILVA, R.M.; MIRANDA FILHO, J.B. Heterosis expression in crosses between maize populations: ear yield. *Scientia Agrícola*, v.60, p.519-524, 2003.
- SOUZA SOBRINHO, F.; RAMALHO, M.A.P.; SOUZA J.C. Alternatives for obtaining double cross maize hybrids. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.1, p.70-76, 2002.
- USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 2010. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdreport.aspx?hidReportRetrievalName =BVS&hidReportRetrievalID=884&hidReportRetrievalTemplateID=1>. Acesso em: 8/3/2010.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.