

POTENCIAL PRODUTIVO E HETEROSE DE HÍBRIDOS DE POPULAÇÕES F₂ DE MILHO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani¹

Cristiani Santos Bernini²

Paula de Souza Guimarães³

Sérgio Doná⁴

Paulo Boller Gallo⁵

Aildson Pereira Duarte⁶

RESUMO

Na cultura do milho, a hibridação visa aproveitar os efeitos da heterose. Todavia, a obtenção de híbridos simples oriundos de linhagens endogâmicas tem alto custo de produção, fato este que tem limitado sua utilização pelos produtores de baixa a média tecnologia. Uma alternativa potencialmente viável para a redução do custo das sementes de milho é a obtenção de híbridos de populações F₂. Este trabalho teve como objetivos identificar híbridos de populações F₂ promissores quanto aos caracteres agrônômicos florescimento masculino, altura de planta, altura de espiga e peso de grãos; e estimar a heterose para peso de grãos. Foram avaliados 56 híbridos de populações F₂, oriundos de dialelos completos entre 16 populações F₂ parentais provenientes da autofecundação de híbridos comerciais, nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010, no Centro Experimental Central do Instituto Agrônômico de Campinas (Campinas), na APTA Regional do Nordeste Paulista (Mococa) e na APTA Regional do Vale do Paranapanema (Palmital). Evidenciaram-se 17 híbridos de populações F₂ com desempenhos produtivos equivalentes aos das testemunhas comerciais DKB 350, DKB 390 e IAC 8333. Obtiveram-se elevados valores de heterose, indicando efeitos de dominância na expressão da produtividade em cruzamentos específicos e confirmando o potencial produtivo de híbridos de populações F₂ para produção comercial de milho.

Termos para indexação: dialelo completo, híbrido intervarietal, *Zea mays*.

¹ Engenheira-agrônoma, Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora científica do Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), Centro de Grãos e Fibras, Av. Barão de Itapura, 1481, CEP 13020-902 Campinas, SP. elisa@iac.sp.gov.br

² Engenheira-agrônoma, doutoranda em Genética e Melhoramento de Plantas, Curso PG/IAC, Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP. cristianibernini@yahoo.com.br

³ Graduada em Ciências Biológicas, doutoranda em Agricultura Tropical e Subtropical, Curso PG/IAC, Instituto Agrônômico de Campinas (IAC). psguim@yahoo.com.br

⁴ Engenheiro-agrônomo, Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, pesquisador científico da APTA, Regional de Desenvolvimento do Médio Paranapanema, Rodovia SP 333 (Assis-Marília), Km 397, Caixa Postal 263, CEP 19800-000 Assis, SP. sergiadona68@yahoo.com.br

⁵ Engenheiro-agrônomo, Mestre em Fitotecnia, diretor técnico de divisão da APTA, Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, Caixa Postal 58, CEP 13730-970 Mococa, SP. polonordestepaulista@apta.sp.gov.br

⁶ Engenheiro-agrônomo, Doutor em Fitotecnia, pesquisador científico da APTA, Regional de Desenvolvimento do Médio Paranapanema, Caixa Postal 263, CEP 19800-000 Assis, SP. aildson@apta.sp.gov.br

PRODUCTIVE POTENTIAL AND HETEROSIS OF HYBRIDS
OF MAIZE F₂ POPULATIONS IN THE STATE OF SÃO PAULO

ABSTRACT

In maize culture, the objective of hybridization is to take advantage of the effects of heterosis. However, obtainment of single-cross hybrids derived from inbred lines requires high seed costs, which is a fact that limits their use by low to medium technology producers. A potentially viable alternative for reducing the cost of maize seeds is to obtain hybrids of F₂ populations. Thus, the objectives of this study were to identify promising hybrids of F₂ populations regarding the agronomic traits of male flowering, plant height, ear height and grain weight; and to estimate the heterosis of grain weight. This study evaluated 56 hybrids of F₂ populations, obtained from a complete diallel scheme among 16 parental F₂ populations – which were obtained from self-fertilization of commercial hybrids – in state of São Paulo, Brazil. The experiments were carried out in two agricultural years, 2008/2009 and 2009/2010, in the Instituto Agronômico de Campinas – IAC (in Campinas); in APTA Regional do Nordeste Paulista (Mococa); and in APTA Regional do Vale do Paranapanema (Palmital). Seventeen hybrids of the F₂ generation were highlighted, with productive performances equivalent to those of the commercial checks of DKB 350, DKB 390 and IAC 8333. High values of heterosis were obtained, indicating dominance effects on the expression of yield at specific crossings, and confirming the productive potential of F₂ population hybrids for the commercial production of maize.

Index terms: complete diallel, intervarietal hybrid, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

A proposta original para utilização de milho híbrido foi feita por Shull, em 1908-1909, ao constatar que o milho perdia seu vigor com a autofecundação e que o vigor era restaurado por meio da hibridação (PATERNIANI; CAMPOS, 1999). Com base nesse fato, foi sugerido realizar várias autofecundações até atingir a homozigose e posterior cruzamento para a obtenção da geração F₁ híbrida. Essa proposta baseava-se no uso de híbrido simples, não tendo sido adotada de imediato porque as linhagens apresentavam vigor e produtividade baixos, aumentando muito o preço das sementes híbridas.

Com a proposta de utilização do híbrido duplo feita por Jones, em 1918, tornou-se economicamente viável a produção comercial de sementes híbridas porque os híbridos simples produzem bem mais do que as linhagens. No Brasil, o primeiro programa de milho híbrido teve início no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), com o pioneirismo de Krug e colaboradores, e os primeiros híbridos comerciais foram produzidos em 1941 e 1942. Com esse programa,

várias empresas e pesquisadores se empenharam em obter milhos híbridos comerciais para fornecer aos agricultores em substituição às variedades (BISON, 2001).

Com o passar do tempo, diversos tipos de híbridos foram desenvolvidos. Sawazaki e Paterniani (2004) apresentam os seguintes tipos de híbridos: simples (obtido mediante o cruzamento de duas linhagens endogâmicas); simples modificado (nesse caso, utilizado como progenitor feminino um híbrido entre duas progênes afins da mesma linhagem e, como progenitor masculino, outra linhagem); triplo (obtido pelo cruzamento de um híbrido simples com uma terceira linhagem); triplo modificado (obtido de maneira semelhante à do híbrido triplo, substituindo-se apenas a terceira linhagem por um híbrido formado por duas progênes afins de uma mesma linhagem); duplo (resultante do cruzamento de dois híbridos simples, ou seja, proveniente do cruzamento entre quatro linhagens); *top cross* (cruzamento de uma linhagem com uma variedade e de um híbrido com uma variedade); e intervarietal, que é o resultado do cruzamento entre duas variedades. Também relatam a evolução das cultivares de milho no Brasil.

O vigor de híbrido é sem dúvida uma das maiores contribuições práticas da genética à agricultura mundial. Com a utilização de híbridos, os melhoristas estão interessados em capitalizar a heterose ou vigor de híbrido, que é definida como o comportamento superior de combinações híbridas comparado com a média de seus parentais para uma mesma característica. Considerando-se que a heterose para um loco com frequência p_1 em uma população e frequência p_2 na população contrastante é dada por $h = (p_1 - p_2)^2 d$, em que d é uma medida de dominância (MIRANDA FILHO; VIÉGAS, 1987), quanto maiores as diferenças entre as frequências gênicas na população em locos com alguma dominância, tanto maior será a heterose do caráter estudado. A identificação de populações ou variedades divergentes é fator essencial para o sucesso do programa de melhoramento que visa à produção de híbridos e ao aproveitamento do fenômeno da heterose.

Os sistemas de produção de milho no Brasil são muito heterogêneos, visto que variam desde cultivo altamente tecnificado ao de subsistência, representado pela baixa produtividade brasileira, com valor de 4.340 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010). A produtividade média do Estado de São Paulo na safra agrícola 2009/2010, de 5.162 kg ha⁻¹, também é baixa. Vale ressaltar que os valores de produtividade

média, apresentados em cerca de 48% da área plantada com milho no estado, variam de 1.290 kg ha⁻¹ a 4.910 kg ha⁻¹.

Para o aumento da produtividade, é de suma importância o uso de sementes melhoradas. No Brasil, na safra 2010/2011 estão sendo disponibilizadas 362 cultivares de milho convencionais – entre elas, 71 novas cultivares (12 variedades, 1 híbrido intervarietal, 10 híbridos duplos, 16 híbridos triplos e 32 híbridos simples) (CRUZ et al., 2010). Há oferta crescente de híbridos simples e triplos, que representam 71% das opções para os agricultores.

No entanto, são questionáveis as condições demonstradas pelos agricultores que utilizam baixa a média tecnologia, em relação a pagar os preços relativamente altos das sementes híbridas de maior potencial genético e aprimorar o sistema de produção.

Diante dessa situação, é necessário oferecer tecnologias alternativas para produção de sementes híbridas com bom potencial genético, porém, a custos mais acessíveis. Entre essas, encontram-se os *top crosses* e os híbridos de populações F₂, que conceitualmente se enquadram na classe de híbridos intervarietais (FERREIRA et al., 2009; PACHECO et al., 2010).

Esses híbridos de populações F₂, também denominados intervarietais, híbridos duplos de gerações F₂, híbridos de sintéticos ou híbridos duplos simplificados, são oriundos do inter cruzamento de gerações F₂ de híbridos simples.

O custo de produção de sementes dos híbridos de F₂ é reduzido porque são eliminadas as etapas de obtenção e multiplicação de linhagens, havendo necessidade apenas da manutenção e produção dos campos das populações parentais. Os híbridos intervarietais permitem a utilização da heterose sem a necessidade da obtenção de linhagens (SAWAZAKI; PATERNIANI, 2004).

Allard, na década de 1960, discutiu vários estudos com híbridos intervarietais e cita W. J. Beal, que, estimulado pelo trabalho de Darwin sobre endogamia e cruzamento, foi o pioneiro em sugerir a utilização de cruzamentos intervarietais para a produção comercial de híbridos de milho. Ainda segundo Allard (1971), os híbridos duplos produzidos pelo cruzamento de gerações F₂ ou F₃, derivados de híbridos simples, devem se comportar como os híbridos duplos produzidos com híbridos simples F₁, desde que não haja seleção que possa causar mudanças nas frequências gênicas.

Hallauer e Miranda Filho (1981) apresentaram resultados de 1.394 cruzamentos intervarietais, tendo obtido heteroses médias em relação à média dos pais de 19,5%, para produtividade de grãos, evidenciando que pode existir um grande potencial para a exploração da heterose em populações e variedades de milho.

Souza Sobrinho et al. (2002) confirmaram a hipótese de equivalência entre os híbridos duplos originados das gerações F_1 e F_2 , utilizando vários híbridos simples comerciais. A produtividade de grãos dos híbridos duplos derivados da geração F_1 foi de 8,20 t ha⁻¹, e de 8,18 t ha⁻¹ para a geração F_2 . Os autores ainda verificaram que alguns híbridos duplos foram tão produtivos quanto os melhores híbridos simples indicados para a região de Minas Gerais.

Pacheco et al. (2010) obtiveram híbridos de F_2 de milho mais produtivos, significativamente, que as cultivares usadas como testemunhas.

Doná et al. (2011) estimou parâmetros de heterose e seus componentes, de acordo com os de Gardner e Eberhart para híbridos de populações F_2 , publicados em 1966. Algumas populações parentais se destacaram com elevados valores de heterose de parentais, e evidenciaram-se três híbridos quanto à heterose específica. Bernini e Paterniani (2012) comprovaram o potencial produtivo e a heterose de híbridos de populações F_2 de milho, com heterose média de 33%.

No atual mercado de híbridos, o IAC 8390 tem se mostrado competitivo, até mesmo após a liberação e cultivo dos transgênicos, evidenciando a viabilidade de utilização dessa tecnologia de híbridos intervarietais.

Ante o exposto, o presente trabalho teve por objetivos: avaliar híbridos de populações F_2 de milho quanto a caracteres agrônômicos e à produtividade, estimar a heterose para a produtividade de grãos e verificar o potencial de híbridos de populações F_2 no Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010, em três locais do Estado de São Paulo: no Instituto Agrônomo, em Campinas; na APTA Regional do Nordeste Paulista (Mococa); e na APTA Regional do Vale do Paranapanema (Palmital).

Em 2007/2008, foram obtidos 28 híbridos de populações F_2 , de dialelo completo, envolvendo 8 populações F_2 parentais denominadas P1 a P8. Essas populações F_2 parentais foram oriundas da autofecundação de híbridos comerciais de diversas empresas, escolhidos por apresentarem divergência genética quanto à origem e características de ciclo e textura de grãos. Em 2008/2009 foram obtidos 28 híbridos de populações F_2 provenientes de outros materiais genéticos de híbridos comerciais, também em esquema dialélico. As oito populações F_2 parentais foram denominadas de P9 a P16.

Foram avaliados os 28 híbridos de populações F_2 , as 8 populações F_2 parentais e as 2 testemunhas comerciais em cada ano agrícola, 2008/2009 e 2009/2010.

Os experimentos foram instalados sob delineamento experimental de blocos ao acaso com 3 repetições, sendo cada parcela constituída por 2 linhas de 5 m espaçadas 0,85 m entre si, com área total de 8,5 m², totalizando 50 plantas. O híbrido comercial IAC 8333 foi utilizado como testemunha nos dois anos agrícolas, e os híbridos DKB 350 e DKB 390, nos anos 2008/2009 e 2009/2010, respectivamente.

Todos os híbridos simples utilizados são comerciais e convencionais, não são protegidos pelo Sistema Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) e, portanto, não possuem qualquer restrição de uso, não havendo qualquer empecilho legal para sua utilização no presente trabalho. Destaca-se ainda que foram utilizadas as gerações F_2 em todos os casos, que ainda foram cruzadas em esquema dialélico, constituindo populações abertas em equilíbrio de Hardy-Weimberg.

Os locais de estudo foram escolhidos pelas diferentes condições de clima e solo. Os solos de Campinas e Palmital foram caracterizados como Latossolo Vermelho Distroférico, e o de Mococa, como Argissolo Vermelho Eutrófico. As coordenadas geográficas e a altitude dos locais de estudo são: Campinas – latitude 22°54'S, longitude 47°3'W e altitude 600 m; Mococa – latitude 21°28'S, longitude 47°1'W e altitude 665 m; e Palmital – latitude 22°48'S, longitude 50°14'W e altitude 650 m.

Em todos os experimentos avaliaram-se os seguintes caracteres agrônômicos: florescimento masculino (obtido de acordo com o período compreendido entre a semeadura e o florescimento, que é evidenciado quando

50% de plantas da parcela estiverem liberando pólen); altura de plantas (medida depois do completo florescimento de 5 plantas competitivas amostradas de cada parcela, tomada do nível do solo até a inserção da última folha, em centímetros); altura de espigas (medida depois do completo florescimento de 5 plantas competitivas amostradas de cada parcela, tomada do nível do solo até a inserção da espiga principal, em centímetros); e peso de grãos (obtido considerando-se o peso em kg dos grãos resultantes da debulha em debulhadora de parcela, do total de espigas da parcela, tomado com o auxílio de balança eletrônica). O peso de grãos, em kg ha⁻¹, foi corrigido para 14% de umidade e estande ideal empregando-se o método da covariância (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A estimativa de heterose de cada híbrido de populações F₂ foi obtida para peso de grãos pelas seguintes expressões:

$$H = \overline{HF}_2 - \overline{MP} \text{ e } H\% = \frac{\overline{HF}_2 - \overline{MP}}{\overline{MP}} \times 100$$

em que H: heterose relativa do híbrido de populações F₂.

\overline{HF}_2 : média do híbrido de populações F₂.

\overline{MP} : média dos parentais.

As análises foram efetuadas utilizando-se o programa Genes (CRUZ, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise conjunta de dois anos, 2008/2009 e 2009/2010 (Tabela 1), verificou-se que não houve efeito da interação tratamentos x locais para todos os caracteres estudados, evidenciando o comportamento semelhante dos tratamentos nos locais de estudo. O efeito de anos foi mais pronunciado e significativo para todos os caracteres. No entanto, para maior representatividade na discussão dos resultados, serão consideradas as médias dos três locais e dois anos, totalizando seis ambientes.

Verificaram-se efeitos significativos para tratamentos (P < 0,01) para todos os caracteres estudados, evidenciando assim a variabilidade genética entre eles, o que era de se esperar, já que as populações parentais são derivadas de

Tabela 1. Análise de variância conjunta de florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e peso de grãos (PG) de 28 híbridos de populações F₂ de milho, dos 8 parentais (P1 a P8) e de 2 testemunhas comerciais em Campinas, Mococa e Palmital, em 2008/2009 e em 2009/2010.

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	FM ⁽¹⁾ (d.a.s)	AP (cm)	AE (cm)	PG ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)
(B/L)/A	12	9,93	574,13	340,56	2.034.269
Tratamentos (T)	37	42,03**	1.941,80**	1.247,78**	21.393.063**
Anos (A)	1	15.177,32**	53.671,76**	3.813,19**	451.323 ^{ns}
Locais (L)	2	2.100,32 ^{ns}	18.637,86 ^{ns}	13.437,12 ^{ns}	94.822.046 ^{ns}
T x A	37	6,68**	331,75**	170,09*	1.129.265**
T x L	74	3,62 ^{ns}	174,91 ^{ns}	105,37 ^{ns}	805.181 ^{ns}
A x L	2	1.161,28**	107.720,36**	56.615,55**	64.763.455**
T x A x L	74	2,66 ^{ns}	142,74 ^{ns}	124,74 ^{ns}	667.963**
Resíduo	444	1,63	155,63	105,44	429.584
Média		62	203	109	7.515
CV (%)		2,05	6,16	9,38	8,72

^{ns} e **: não significativo e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

⁽¹⁾ Dias após semeadura.

⁽²⁾ Corrigido para 14% de umidade e estande ideal pelo método da covariância.

híbridos comerciais de diferentes empresas e, possivelmente, sem parentesco nas linhagens parentais.

Os coeficientes de variação experimental (CV%) obtidos para todos os caracteres estudados correspondem à precisão experimental em nível satisfatório para a cultura do milho, de acordo com a classificação proposta por Scapim et al. (1995).

Nos dois anos agrícolas, a média de florescimento masculino foi separada em oito grupos (a, b, c, d, e, f, g, h) pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$), demonstrando existência de variabilidade entre os tratamentos. Foram observadas médias que variavam de 66 d.a.s., nos parentais P4 e P5, a 60 d.a.s., nos híbridos P6 x P2, P6 x P3, P7 x P6 e P8 x P6. Esses híbridos destacaram-se como mais precoces na média de dois anos e estatisticamente foram reunidos em um grupo diferente dos demais, inclusive das testemunhas comerciais.

Quanto aos caracteres altura de plantas e espigas, as médias gerais observadas dos híbridos de F₂ foram 204 cm e 111 cm, respectivamente. As médias de altura de plantas variaram de 184 cm a 223 cm, as quais foram agrupadas em 4 grupos distintos pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$). Já as médias de altura de espigas variaram de 94 cm a 128 cm no parental P6 e no híbrido P5 x P2, respectivamente. Os resultados de altura de plantas corroboram as informações de Sawazaki e Paterniani (2004), de que cerca de 90% das cultivares existentes no mercado apresentam altura máxima da planta de 250 cm.

O peso de grãos foi separado em oito grupos distintos (a, b, c, d, e, f, g, h) pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$). O híbrido de populações F₂ P4 x P1 obteve a maior média de peso de grãos, com 9.095 kg ha⁻¹, e não diferiu estatisticamente da testemunha comercial DKB 350, com 8.929 kg ha⁻¹ (Tabela 2). Destacou-se o grupo b com pesos de grãos que variaram de 8.284 kg ha⁻¹ a 8.640 kg ha⁻¹ para os híbridos P2 x P1 e P4 x P2, respectivamente. Tais resultados estão de acordo com os obtidos por Pacheco et al. (2010), que constataram que alguns híbridos de

Tabela 2. Médias de florescimento masculino (FM), altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e peso de grãos (PG), e estimativas de heterose em relação à média dos pais (HMP) de 28 híbridos de populações F₂ de milho, dos 8 parentais e de 2 testemunhas comerciais em Campinas, Mococa e Palmital, em 2008/2009 e em 2009/2010.

Híbridos/ populações F ₂	FM ⁽¹⁾ (d.a.s.)	AP (cm)	AE (cm)	PG ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)	PG ⁽³⁾ (%)	H _{MP} (kg ha ⁻¹)	H _{MP} (%)
P2 x P1	63 d	223 a	126 a	8.284 b	96	3.015	59
P3 x P1	62 e	212 b	115 b	7.985 c	92	2.046	34
P4 x P1	63 d	218 a	120 b	9.095 a	105	3.682	70
P5 x P1	64 c	223 a	127 a	8.496 b	98	3.276	65
P6 x P1	61 f	210 b	108 c	8.110 c	94	3.027	62
P7 x P1	62 e	211 b	117 b	7.854 c	91	2.503	47
P8 x P1	63 d	207 b	102 d	7.811 c	90	2.614	53
P3 x P2	61 f	203 c	111 c	7.682 d	89	1.411	22
P4 x P2	64 c	223 a	124 a	8.640 b	100	2.895	52
P5 x P2	63 d	220 a	128 a	8.669 b	100	3.117	61
P6 x P2	60 g	200 c	108 c	7.629 d	88	2.214	42
P7 x P2	62 e	198 c	110 c	8.010 c	92	2.328	44
P8 x P2	62 e	199 c	107 c	7.605 d	88	2.075	41
P4 x P3	63 d	204 c	109 c	8.065 c	93	1.649	26
P5 x P3	63 d	202 c	113 b	8.564 b	99	2.342	38
P6 x P3	60 g	197 c	99 d	7.872 c	91	1.786	30

Continua....

Tabela 2. Continuação

Híbridos/ populações F ₂	FM ⁽¹⁾ (d.a.s.)	AP (cm)	AE (cm)	PG ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)	PG ⁽³⁾ (%)	HMP (kg ha ⁻¹)	HMP (%)
P7 x P3	62 e	191 d	101 d	7.898 c	91	1.545	25
P8 x P3	61 f	192 d	98 d	7.626 d	88	1.426	24
P5 x P4	64 c	208 b	118 b	8.293 b	96	2.597	48
P6 x P4	62 e	200 c	106 c	7.941 c	92	2.381	44
P7 x P4	62 e	200 c	111 c	8.040 c	93	2.214	40
P8 x P4	62 e	202 c	108 c	6.771 f	78	1.097	21
P6 x P5	61 f	198 c	106 c	7.692 d	89	2.327	46
P7 x P5	62 e	196 c	110 c	7.989 c	92	2.356	44
P8 x P5	63 d	193 d	107 c	7.473 d	86	1.993	41
P7 x P6	60 g	199 c	105 c	7.604 d	88	2.107	41
P8 x P6	60 g	201 c	103 d	7.498 d	86	2.154	42
P8 x P7	61 f	191 d	106 c	7.732 d	89	2.121	39
Média dos híbridos	62	204	111	7.962	92	2.475	43
P1	65 b	200 c	102 d	4.937 h	57		
P2	64 c	192 d	110 c	5.601 g	65		
P3	62 e	195 d	102 d	6.942 e	80		
P4	66 a	205 c	116 b	5.890 g	68		
P5	66 a	209 b	117 b	5.501 g	63		
P6	61 f	184 d	94 d	5.230 h	60		
P7	62 e	184 d	101 d	5.764 g	66		
P8	63 d	189 d	97 d	5.458 g	63		
Média dos parentais	64	195	105	5.665	65		
DKB 350	61 f	203 c	108 c	8.929 a	103		
IAC 8333	61 f	216 a	113 b	8.398 b	97		
Média	62	203	109	7.515	87		
CV %	2,05	6,16	9,38	8,72			

Obs.: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ($P < 0,05$).

⁽¹⁾ Dias após semeadura.

⁽²⁾ Dados corrigidos para 14% de umidade e estande ideal.

⁽³⁾ Porcentagem de peso de grãos em relação à média das testemunhas.

F₂ avaliados obtiveram elevadas produtividades, de 8.129 kg ha⁻¹ e 8.047 kg ha⁻¹ para os híbridos HDS (3x5) F₂ e HDS (5xBRS2020M) F₂, respectivamente, os quais não se diferenciaram estatisticamente do HDS (1xBRS2020F) F₁, mostrando grande potencial genético dos híbridos F₂ em cruzamentos específicos.

Verificou-se que o híbrido de populações F₂ P4 x P1 se destacou com maior peso de grãos (9.095 kg ha⁻¹), similar ao da testemunha DKB 350. As

testemunhas utilizadas no experimento são híbridos com grande aceitação comercial, e a equivalência de produtividade com estes evidencia o potencial do híbrido de F_2 em questão.

A utilização de híbridos simples para extração de linhagens tem sido relatada em outros trabalhos, sobretudo por serem bastante adaptados (CARVALHO, 2004; DONÁ, 2010; LIMA, 2000; SANTOS, 2009; SOUZA SOBRINHO, 2001).

Lima (2000), pesquisando populações S_0 oriundas dos híbridos comerciais C333B, Z8392, AG 1051 e BR 105, obteve destaque do híbrido de populações AG 1051 para produtividade de grãos de 11,66 t ha⁻¹, tendo superado a variedade BR 105. No estudo de Carvalho (2004), ficou demonstrado o potencial de híbridos de linhagens S_2 para peso de espigas despalhadas, tendo-se obtido em Lavras a variação de 4,6 t ha⁻¹ a 17,2 t ha⁻¹, e em Rio Verde, de 3,6 t ha⁻¹ a 10 t ha⁻¹. Amorim e Souza (2005), estudando 163 híbridos de populações S_0 oriundas de 3 híbridos simples comerciais, constataram para produtividade de grãos valores acima de 13 t ha⁻¹.

Com base nos resultados que estão sendo obtidos com os híbridos de F_2 atualmente, pode-se depreender que a grande dificuldade em explorar a heterose em cruzamentos com populações de polinização aberta está no valor genético das populações, e não no desgastado conceito de híbrido intervarietal (PACHECO et al., 2010).

Na Tabela 2, estão apresentadas as médias das estimativas de heterose dos dois anos agrícolas. Foram observados, para a produtividade de grãos, maiores valores de heterose média relativa de 59%, 61%, 62%, 65% e 70% nos híbridos de F_2 P2 x P1, P5 x P2, P6 x P1, P5 x P1 e P4 x P1, respectivamente. Os resultados de heterose encontrados neste trabalho indicam que os híbridos de populações F_2 têm grande potencial para uso em produção comercial. Em virtude dessa variabilidade apresentada, estes podem ser usados na síntese de populações base para melhoramento, ou no aproveitamento direto de informações de cruzamentos específicos em programas de seleção recorrente recíproca.

Essas heteroses médias são equivalentes às normalmente encontradas na literatura, como se verifica no trabalho de Tulu (2001), que relata estimativas de heterose de 32% a 55% para produtividade ao estudar populações de milho de

polinização aberta. Vivek et al. (2009) encontraram heterose máxima de 43,7% para cruzamentos de populações. Entretanto, esses valores de heterose são considerados baixos em comparação aos de outros dialelos com linhagens endogâmicas (PSWARAYI; VIVEK, 2008; VIVEK et al., 2009).

Na análise conjunta (Tabela 3), verificou-se efeito significativo de locais para os caracteres estudados, visto que os locais diferem muito quanto às condições de clima e de solo. O efeito de tratamentos foi significativo nos três locais para todos os caracteres, indicando haver variabilidade genética. A interação tratamentos x locais não mostrou significância para os caracteres em estudo.

Tabela 3. Análise de variância conjunta dos caracteres florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e produção de grãos (PG) de 28 híbridos de populações F₂ de milho, de 8 populações F₂ parentais (P9 a P16) e de 2 testemunhas comerciais em Campinas, Mococa e Palmital, SP, em 2009/2010.

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	FM ⁽¹⁾ (d.a.s.)	AP(cm)	AE(cm)	PG ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)
Blocos/locais	6	7,67	459,01	170,15	893.488,69
Tratamentos (T)	37	4,95*	521,08**	235,36**	8.522.337,60**
Locais (L)	2	1.532,69**	34.109,42**	10.250,14**	28.322.164,41**
T x L	74	3,47 ^{ns}	173,19 ^{ns}	96,99 ^{ns}	703.323,77 ^{ns}
Resíduo	222	3,13	140,24	115,45	524.016,63
Média		58	209	109	7.479
CV (%)		3,04	5,66	9,87	9,67

^{ns} e **: não significativo e significativo a 1%, respectivamente, pelo teste F.

⁽¹⁾ Dias após sementeira.

⁽²⁾ Corrigido para 14% de umidade e estande ideal pelo método da covariância.

Assim sendo, os resultados dos 28 híbridos de populações F₂, das 8 populações F₂ parentais (P9 a P16) e de 2 testemunhas comerciais (IAC 8333 e DKB 390) estão apresentados em termos de médias. As médias de florescimento masculino, altura de plantas, altura de espigas e peso de grãos para os três locais encontram-se na Tabela 4, juntamente com seus agrupamentos pelo teste Scott-Knott (P < 0,05).

Para o caráter florescimento masculino, foi observada a formação de dois grupos distintos, com médias que variaram de 60 d.a.s., no parental P13, a 56 d.a.s., no híbrido P12 x P9. Quatorze híbridos de F₂ se destacaram como os mais precoces nos três locais, e estatisticamente, foram reunidos no mesmo grupo que o das testemunhas comerciais IAC 8333 e DKB 390.

Tabela 4. Médias de florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e produção de grãos (PG), e estimativas de heterose em relação à média dos pais (H_{MP}) de 28 híbridos de populações F₂ de milho, dos 8 parentais e de 2 testemunhas comerciais em Campinas, Mococa e Palmital, em 2009/2010.

Híbridos/ populações F ₂	FM ⁽¹⁾ (d.a.s.)	AP (cm)	AE (cm)	PG ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)	PG ⁽³⁾ (%)	H _{MP} (kg ha ⁻¹)	H _{MP} (%)
P10 x P9	59 a	210 b	104 b	7.898 b	98	2.134	37
P11 x P9	58 a	208 b	105 b	7.842 b	97	1.541	24
P12 x P9	56 b	204 b	109 a	7.496 b	92	1.760	31
P13 x P9	58 a	212 a	112 a	7.820 b	97	2.031	35
P14 x P9	57 b	204 b	106 b	7.240 b	90	1.107	18
P15 x P9	58 a	206 b	106 b	7.858 b	97	1.425	22
P16 x P9	58 a	206 b	108 a	7.585 b	94	1.920	34
P11 x P10	58 a	209 b	104 b	7.939 b	98	1.914	32
P12 x P10	57 b	224 a	111 a	8.611 a	107	3.151	58
P13 x P10	58 a	217 a	110 a	8.777 a	109	3.266	59
P14 x P10	57 b	211 b	102 b	8.351 a	103	2.495	42
P15 x P10	58 b	225 a	113 a	8.294 a	103	2.138	35
P16 x P10	58 b	209 b	108 a	7.420 b	92	2.031	38
P12 x P11	58 b	218 a	110 a	7.613 b	94	1.616	27
P13 x P11	59 a	216 a	114 a	8.146 a	101	2.098	35
P14 x P11	57 b	207 b	103 b	8.011 b	99	1.618	25
P15 x P11	58 b	223 a	111 a	8.478 a	105	1.785	27
P16 x P11	57 b	214 a	116 a	8.018 b	99	2.092	35
P13 x P12	58 a	205 b	110 a	6.723 c	83	1.239	22
P14 x P12	57 b	206 b	102 b	7.869 b	97	2.040	35
P15 x P12	57 b	216 a	116 a	8.146 a	101	2.017	33
P16 x P12	57 b	216 a	117 a	7.792 b	97	2.432	45
P14 x P13	58 a	212 a	116 a	8.277 a	103	2.396	41
P15 x P13	58 a	210 b	111 a	6.754 c	84	574	9
P16 x P13	58 a	203 b	110 a	8.091 a	100	2.679	49
P15 x P14	58 a	208 b	109 a	7.974 b	99	1.449	22
P16 x P14	58 b	204 b	109 a	7.437 b	92	1.679	29
P16 x P15	59 a	216 a	119 a	8.200 a	102	2.142	35

Continua...

Tabela 4. Continuação

Híbridos/ populações F ₂	FM ⁽¹⁾ (d.a.s.)	AP (cm)	AE (cm)	PG ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)	PG ⁽³⁾ (%)	HMP (kg ha ⁻¹)	HMP (%)
Média dos híbridos	58	211	110	7.881	98	1.956	33
P9	59 a	203 b	101 b	6.041 c	75		
P10	59 a	201 b	101 b	5.487 d	68		
P11	59 a	206 b	104 b	6.561 c	81		
P12	59 a	204 b	110 a	5.432 d	67		
P13	60 a	202 b	108 a	5.535 d	68		
P14	59 a	199 b	99 b	6.225 c	77		
P15	58 b	202 b	106 b	6.825 c	85		
P16	58 a	186 b	101 b	5.290 d	65		
Média dos parentais	59	200	104	5.924	73		
DKB 390	58 b	210 b	116 a	9.031 a	112		
IAC 8333	57 b	215 a	110 a	7.080 b	88		
Média	58	209	109	7.479	93		
CV %	3,0	5,66	9,87	9,67			

Obs.: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott ($P < 0,05$).

⁽¹⁾ Dias após semeadura.

⁽²⁾ Dados corrigidos para 14% de umidade e estande ideal.

⁽³⁾ Porcentagem de peso de grãos em relação à média das testemunhas.

Para altura de plantas e espigas, as médias variaram de 203 cm para planta e 110 cm para espiga, no híbrido P16 x P13; a 225 cm para planta e a 113 cm para espiga, no híbrido P15 x P10. Destacou-se o híbrido P14 x P10 pelos menores valores de altura de planta e espiga. Scapim et al. (2002), pesquisando híbridos oriundos de populações de milho-pipoca, obtiveram médias de altura de plantas e espigas de 177 cm e 100 cm, respectivamente, evidenciando que não serão limitantes na colheita. Resultados obtidos com os híbridos de populações F₂ nos dois anos agrícolas para altura de plantas e espigas de 204 cm e 111 cm, comparados com os obtidos no ano agrícola 2009/2010 de 211 cm e 110 cm, respectivamente, indicam que as plantas apresentam porte médio.

Quanto à produtividade, houve separação de quatro grupos distintos (a, b, c, d) pelo teste Scott-Knott, tendo-se destacado o híbrido P13 x P10, com produtividade de grãos de 8.777 kg ha⁻¹, que não diferiu estatisticamente de outros nove híbridos de F₂ e da testemunha DKB 390. Resultados dos dois anos agrícolas, 2008/2009 e 2009/2010, indicam equivalência das produtividades médias obtidas nos dois anos agrícolas com as produtividades médias

obtidas no ano 2009/2010, como a obtida pelos híbridos de populações F_2 nos dois anos agrícolas, de 7.962 kg ha⁻¹, semelhante à do ano 2009/2010, de 7.881 kg ha⁻¹. Destacou-se o híbrido de F_2 P4 x P1, com produtividade de grãos de 9.095 kg ha⁻¹ em dois anos agrícolas, semelhante à da testemunha DKB 390, com 9.031 kg ha⁻¹ no ano agrícola 2009/2010 (Tabela 4).

Verificou-se que os híbridos de F_2 mais promissores do grupo de híbridos de 9 a 16 apresentaram porcentagens de peso de grãos em relação à média das testemunhas (PG%) que variaram de 109% a 100%, e para o grupo de híbridos de 1 a 8, variaram de 105% a 100%, evidenciando a superioridade de híbridos F_2 obtidos em comparação com referenciais cultivares já estabelecidas, com desempenho satisfatório e adaptadas às regiões nas quais se propõe difundir os materiais já melhorados.

Pelas médias de peso de grãos das populações F_2 parentais, pode-se verificar que os parentais P11 e P15 que estão no grupo c produziram híbridos promissores (Tabela 4).

Em um programa de melhoramento é de suma importância a identificação de diversidade genética entre os materiais. A heterose de híbrido é, portanto, função do quadrado das diferenças de frequências gênicas entre as populações e do grau de dominância (SCAPIM et al., 2002). A ausência de heterose não implica necessariamente falta de diversidade genética, pois se os efeitos de dominância não forem unidirecionais em grande parte dos locos, pode ocorrer compensação de efeito entre locos.

Para peso de grãos (Tabela 4), verificou-se a amplitude de variação de heterose em relação à média das populações F_2 parentais (H_{MP}) de 574 kg ha⁻¹ e 3.266 kg ha⁻¹ nos híbridos de populações F_2 P15 x P13 e P13 x P10, respectivamente. As porcentagens de H_{MP} variaram de 9% a 59% nos híbridos de F_2 , e apresentaram heterose média de 33% nos três locais de realização dos experimentos. Essas heteroses médias são equivalentes à da fase I, que obteve a amplitude de variação de H_{MP} de 22% a 70% nos híbridos de F_2 P8 x P4 e P4 x P1, respectivamente, e apresentou heterose média de 43% nos dois anos agrícolas.

Os valores de heterose para peso de grãos encontrados nos dois dialelos indicam que as populações F_2 parentais selecionadas neste estudo são divergentes, como já esperado pelos resultados obtidos de heterose em relação

à média dos pais, correspondendo aos normalmente encontrados na literatura que envolvem cruzamentos intervarietais ou interpopulacionais (PATERNIANI, 1980; PATERNIANI; LONQUIST, 1963; SILVA; MIRANDA FILHO, 2003; VASAL et al., 1992).

CONCLUSÕES

Evidenciou-se o potencial genético de 17 híbridos de populações F_2 quanto à produtividade de grãos, que não diferiram da testemunha.

Destacaram-se os híbridos de F_2 P4 x P1 e P14 x P10 quanto à produtividade, precocidade e menores valores de altura de planta e espiga.

Obtiveram-se elevados valores de heterose (médias de 33% e de 43%), com destaque para os híbridos de F_2 P4 x P1 nos dois anos agrícolas e P13 x P10 nos três locais, indicando efeitos de dominância na expressão da produtividade em cruzamentos específicos.

Os híbridos de populações F_2 podem oferecer aos agricultores rendimentos comparáveis aos de híbridos comerciais de ampla aceitação, como os usados como testemunhas neste estudo, e constituem alternativa viável para os pequenos e médios produtores de milho.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W. **Princípios do Melhoramento Genético das Plantas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971.
- AMORIM, E. P.; SOUZA, J. C. Híbridos de milho inter e intrapopulacionais obtidos a partir de populações S_0 de híbridos simples comerciais. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 64, n. 3, p. 561-567, 2005.
- BERNINI, C. S.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Estimativas de parâmetros de heterose em híbridos de populações F_2 de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, jan./mar. 2012.
- BISON, O. **Potencial de híbridos simples de milho para extração de linhagens**. 2001. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CARVALHO, A. D. F. **Capacidade de combinação de linhagens parcialmente endogâmicas obtidas de híbridos comerciais de milho**. 2004. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2009/2010**: décimo segundo levantamento. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2010.

CRUZ, C. D. **Aplicativo computacional em genética e estatística**: programa genes. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1997. 442 p.

CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Milho: Cultura para 2009/10**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 25 set. 2010.

DONÁ, S. **Desempenho e heterose de híbridos de populações F₂ de milho**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.

DONÁ, S.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; GALLO, P. B.; DUARTE, A. P. Heterose e seus componentes em híbridos de populações F₂ de milho. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 70, n. 4, p. 767-774, 2011.

FERREIRA, E. A.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; GALLO, P. B.; SAWAZAKI, E.; AZEVEDO FILHO, J. A. de; GUIMARÃES, P. de S. Desempenho de híbridos *top crosses* de linhagens S₃ de milho em três locais do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 68, n. 2, p. 319-327, 2009.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1981. 468 p.

LIMA, M. W. P.; SOUZA, E. A. de; RAMALHO, M. A. P. Procedimento para escolha de populações de milho promissoras para extração de linhagens. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 59, n. 2, p. 153-158, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052000000200005>. Acesso em: 12 maio 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, 1987. p. 277-340.

PACHECO, C. A. P.; SILVA, A. R.; CASELA, C. R.; CARVALHO, H. W. L.; VASCONCELLOS, J. H.; TABOSA, J. N.; GUIMARÃES, L. J. M.; LIRA, M. A.; CARDOSO, M. J.; GUIMARÃES, P. E. O.; PARENTONI, S. N.; MEIRELLES, W. F. Desenvolvimento de híbridos não convencionais de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade**: trabalhos e palestras. [Goiânia]: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

PATERNIANI, E. Heterosis in intervarietal crosses of maize (*Zea mays* L.) and their advanced generations. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, SP, v. 3, n. 3, p. 235-249, 1980.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BOREM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1999. v. 1, p. 215-274.

- PATERNIANI, E.; LONNQUIST, J. H. Heterosis in interracial crosses of corn. **Crop science**, Madison, WI, v. 3, n. 6, p. 504-507, 1963.
- PSWARAYI, A.; VIVEK, B. S. Combining ability amongst CIMMYT's early maturing maize (*Zea mays* L.) germoplasm under stress and non-stress conditions and identification of testers. **Euphytica**, v. 162, n. 3, p. 353-362, 2008.
- SANTOS, F. M. C. **Capacidade de combinação de híbridos comerciais visando à obtenção de híbridos de F₂**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.
- SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Evolução dos cultivares de milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2004. p. 55-83.
- SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, p. 683-686, 1995.
- SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A. P.; TONET, A.; BRACCINI, A. L.; PINTO, R. J. B. Análise dialéctica e heterose de populações de milho-pipoca. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 61, n. 3, p. 219-230, 2002.
- SILVA, R. M.; MIRANDA FILHO, J. B. Heterosis expression in crosses between maize populations: ear yield. **Scientia agrícola**, Piracicaba, SP, v. 60, n. 3, p. 519-524, 2003.
- SOUZA SOBRINHO, F. de; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA, J. C. de. Alternatives for obtaining double cross maize hybrids. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 70-76, 2002.
- SOUZA SOBRINHO, F. **Divergência genética de híbridos simples e alternativas para a obtenção de híbridos duplos de milho**. 2001. 96 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- TULU, L. Heterosis and genetic diversity in crosses of seven East África maize (*Zea mays* L.) populations. In: EASTERN AND SOUTHERN AFRICA REGIONAL MAIZE CONFERENCE, 7., 2001, Nairobi. Disponível em: < apps.cimmyt.org/english/docs/proceedings/Africa/pdf/27_Tulu1.pdf >. Acesso em: 9 mai. 2010.
- VASAL, S. K.; SRINIVASAN, G.; BECK, D. L.; CROSSA, J.; PANDEY, S.; DE LEON, C. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical late white maize germoplasm. **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 2, p. 217-223, 1992.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.
- VIVEK, B. S.; CROSSA, J.; ALVARADO, G. Heterosis and combining ability among CIMMYT's mid-altitude early to intermediate maturing maize (*Zea mays* L.) populations. **Maydica**, Bergamo, v. 54, p. 97-107, 2009.