

Depressão endogâmica e heterose de híbridos de populações F_2 de milho no estado de São Paulo

Cristiani Santos Bernini ⁽¹⁾; Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani ^(2*);
Aildson Pereira Duarte ⁽³⁾; Paulo Boller Gallo ⁽⁴⁾; Paula de Souza Guimarães ⁽¹⁾;
Sara Regina Silvestrin Rovaris ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Agronômico (IAC), Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Caixa postal 28, 13001-970 Campinas (SP), Brasil.

⁽²⁾ IAC, Centro de Grãos e Fibras, Caixa postal 28, 13001-970, Campinas (SP), Brasil.

⁽³⁾ Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA Regional), Pólo Regional do Médio Paranapanema, Caixa postal 263, 19802-970 Assis (SP), Brasil.

⁽⁴⁾ APTA Regional, Pólo Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, Caixa postal 58, 13730-980 Mococa (SP), Brasil.

^(*) Autor correspondente: elisa@iac.sp.gov.br

Recebido: 2/abr./2013; Aceito: 31/ago./2013

Resumo

A heterose e a depressão por endogamia são fenômenos complementares importantes nas estratégias de melhoramento, como para a obtenção de híbridos convencionais e melhoramento de populações. Este trabalho teve por objetivos avaliar híbridos de populações F_2 de milho quanto aos caracteres agronômicos, estimar a heterose em relação à média dos pais e determinar a depressão endogâmica na obtenção das populações de genitores F_2 . Foram avaliados 10 híbridos de populações F_2 , cinco populações de genitores F_2 e os respectivos híbridos comerciais (HC) quanto aos seguintes caracteres agronômicos: florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e massa de grãos (MG), em dois locais do estado de São Paulo, Mococa e Palmital, sob delineamento de blocos ao acaso. A estimativa de depressão por endogamia ao passar da geração F_1 para F_2 variou de 18,0% no HC12 a 48,1% no HC10, para MG. A heterose média em relação à média dos pais obtida para massa de grãos foi de 37,2%, representada pela elevada produtividade alcançada pelos híbridos de F_2 . Baseando-se nesses resultados foi possível evidenciar dois híbridos de populações F_2 que apresentaram potencial produtivo, alta heterose média e populações F_2 com potencial para extração de linhagens.

Palavras-chave: *Zea mays*, vigor híbrido, endogamia, melhoramento populacional, produtividade.

Inbreeding depression and heterosis of hybrids in F_2 populations of maize in the Sao Paulo State, Brazil

Abstract

Heterosis and inbreeding depression are complementary phenomena, both important to the establishment of breeding strategies, such as conventional hybrids and population breeding. This study aimed to evaluate the agronomic traits of hybrids in F_2 populations, estimate of heterosis in relation to the average of the parents and determine the inbreeding depression in F_2 parents populations. Ten hybrids of F_2 populations, five F_2 parents populations and the respective commercial hybrids (HC) were evaluated for male flowering, plant height, ear height and grain mass. Plants were evaluated in Mococa and Palmital counties at the Sao Paulo State and the experiment was arranged in a completely randomized block design. The estimated inbreeding depression from F_1 to next F_2 generation ranged from 18.0% in HC12 to 48.1% in HC10 for grain mass. The heterosis in relation to the parents' mean was 37.2%, represented by high yield in F_2 hybrids. Based on these results, it was possible to highlight two hybrids of F_2 populations with high yield potential, high average heterosis and F_2 populations with potential for extraction of inbred lines.

Key words: *Zea mays*, hybrid vigor, inbreeding, breeding population, yield.

1. INTRODUÇÃO

A importância agronômica do milho avança junto com a pesquisa científica que tem conduzido a cultura à melhoria da produtividade desde a introdução dos programas de híbridos no início do século XX, dos métodos de melhoramento via seleção recorrente até o

cultivo de transgênicos. Os trabalhos de hibridação se iniciaram com BEAL (1870), com híbridos intervartietais, EAST (1908) e SHULL (1908; 1909), que estabeleceram o sistema endogamia-hibridação, JONES (1918), que sugeriu a utilização de híbridos duplos para viabilizar a comercialização da semente híbrida, e KIESSELBACH (1930), que propôs o uso de gerações avançadas de híbridos

simples (F_2 e F_3) como genitores na produção de sementes de híbridos duplos, sendo essas as grandes contribuições pioneiras para o sucesso do milho híbrido.

Nos programas de melhoramento de milho, o fenômeno da heterose é de grande importância na identificação de populações geneticamente divergentes como base para o desenvolvimento de linhagens a serem utilizadas em cruzamentos híbridos, com o propósito de capturar o efeito gênico não aditivo que promove dominância (HALLAUER, 1990). FALCONER e MACKAY (1996) referem-se à heterose como o inverso da depressão endogâmica. No processo de endogamia, deve-se partir de populações geneticamente adequadas, o que significa que elas devem ter alta frequência de alelos favoráveis para os diversos caracteres de interesse e pequena carga genética, isto é, baixa frequência de alelos deletérios. A primeira condição é sinônimo de alta capacidade geral de combinação e a segunda refere-se à depressão por endogamia pouco pronunciada (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). A carga de genes deletérios é usualmente estimada pelo componente de índice de depressão por endogamia. O principal benefício da endogamia é a dispersão de alelos de uma população, para seleção de plantas individuais, de modo que a fixação de alelos favoráveis seja utilizada na obtenção de híbridos superiores e no melhoramento das populações (RIVERA et al., 2005).

O valor fenotípico médio de uma população para uma característica quantitativa depende das frequências gênicas, do grau de dominância e do coeficiente de consanguinidade dela (FALCONER, 1989). Em híbridos, a condição heterozigota obscurece a ação de genes deletérios. A carga de genes deletérios também afeta a capacidade combinatória das linhagens e diz-se que duas linhagens endogâmicas têm boa capacidade de combinação porque os genes favoráveis em uma linhagem complementam a ação de genes alélicos e não alélicos em outra e obscurecem os seus defeitos (FASOULAS, 1988). BUSBICE (1970) cita a relação linear entre a produtividade e a heterozigosidade que pode ser obtida por duas formas: a) escolha de genitores que possuam menor depressão endogâmica; e b) escolha de linhagens endogâmicas que apresentem maior porcentagem de heterose quando cruzadas com outras.

Sobre depressão endogâmica e constituição genética das populações, os autores VIANA et al. (1982), LIMA et al. (1984) e PACHECO et al. (2002) citam que a carga genética

baixa é esperada nas populações sintetizadas a partir de linhagens endogâmicas e de compostos de base genética ampla que já passaram por processo de seleção contra alelos deletérios, quando comparadas com aquelas populações de alta heterozigosidade nunca expostas a quaisquer níveis de endogamia. DE LÉON et al. (1998) indicaram que a baixa depressão endogâmica pode ser atribuída aos genitores com germoplasmas distintos e que provavelmente têm baixos níveis de endogamia. KOUTSIKA-SOTIRIOU e KARAGOUNIS (2005) indicaram que híbridos simples comerciais com baixa depressão por endogamia, positiva capacidade geral de combinação e negativa capacidade específica apresentam um conjunto desejável de alelos favoráveis, o que viabiliza a obtenção de geração F_2 deles para o desenvolvimento de linhagens elite.

O melhoramento de populações visa essencialmente ao aumento da frequência dos genes favoráveis nas populações base. Os acréscimos nas frequências alélicas são funções que dependem da magnitude da ação gênica, do processo de seleção, da população base, da intensidade de seleção e da precisão experimental (SAWAZAKI, 1980). A utilização de germoplasma de base genética ampla composta de populações elite é meio eficaz para a obtenção de linhagens superiores e de híbridos em curto prazo (KOUTSIKA-SOTIRIOU e KARAGOUNIS, 2005; PARRA et al., 2010).

O presente trabalho teve por objetivos estimar a heterose de híbridos de populações F_2 de milho em relação à média dos pais e determinar a depressão endogâmica na obtenção das populações F_2 de genitores, bem como avaliar os híbridos quanto a caracteres agronômicos de interesse em dois locais distintos do estado de São Paulo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As cinco populações F_2 de genitores envolvidas neste estudo, denominadas de Pop. 10, Pop. 12, Pop. 13, Pop. 14 e Pop. 15, foram obtidas da autofecundação de híbridos comerciais (Tabela 1) e posterior inter cruzamento ao acaso da geração F_2 , gerando populações em equilíbrio de Hardy-Weinberg, desconsiderando os genes ligados (WRICKE e WEBER, 1986).

Para a obtenção dos híbridos de populações F_2 foi realizado um dialelo completo 5 x 5 com as populações F_2 genitoras, na safra de verão de 2009/2010, no Centro Experimental do

Tabela 1. Descrição dos híbridos comerciais de milho utilizados para obtenção das populações F_2 genitoras

Denominação*	Base genética**	Ciclo	Aparência dos grãos	Empresa
HC10	HS	Precoce	Semiduro	Monsanto
HC12	HS	Precoce	Semidentado	Syngenta
HC13	HS	Precoce	Semidentado	Syngenta
HC14	HT	Precoce	Semidentado	Dow AgroSciences
HC15	HS	Semiprecoce	Semidentado	Pioneer

*HC: híbrido comercial; **HS: híbrido simples; HT: híbrido triplo

Instituto Agronômico. Nos cruzamentos, coletou-se o pólen de dezenas de plantas utilizadas como genitoras masculinas e efetuou-se a mistura de pólen, visando à representatividade de cada população F_2 .

Os experimentos de avaliação dos 10 híbridos de populações F_2 , das cinco populações F_2 genitoras e dos cinco híbridos comerciais F_1 foram conduzidos na Apta Regional de Desenvolvimento do Nordeste Paulista, em Mococa (SP, 21°28'S, 47°01'W e altitude de 665 m) e na Apta Regional do Médio Paranapanema, em Palmital (SP, 22°48'S, 50°14'W e altitude de 501 m), na safra de verão de 2010/2011. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com três repetições, sendo cada parcela constituída por duas linhas de 5 m espaçadas de 0,85 m, com área total de 8,5 m², totalizando 50 plantas após o desbaste.

Foram avaliados os seguintes caracteres agrônômicos: dias para o florescimento masculino (FM), evidenciado quando 50% de plantas da parcela estiverem liberando pólen; altura de planta (AP), medida tomada do nível do solo até a inserção da última folha (cm); altura de espiga (AE), medida tomada do nível do solo até a inserção da espiga principal (cm); e massa de grãos (MG), obtida considerando-se a massa (kg) dos grãos resultantes da debulha do total de espigas. A massa de grãos (kg ha⁻¹) foi corrigida para 14% de umidade e estande ideal de 50 plantas empregando-se o método da covariância (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Foi realizada análise de variância de grupos de experimentos, com decomposição de tratamentos para verificar-se a significância dos contrastes Híbridos F_2 versus Híbridos comerciais F_1 e Híbridos F_2 versus Populações F_2 , visando aos objetivos do estudo de endogamia e heterose.

Foram efetuadas análises de variância individual e conjunta, considerando-se o modelo fixo, sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

A estimativa de heterose de cada híbrido de populações F_2 foi obtida pela seguinte equação:

$$H\% = \frac{\overline{HI} - \overline{MP}}{\overline{MP}} \times 100 \quad (1)$$

em que: H% = heterose relativa do híbrido de populações F_2 ; \overline{HI} = média do híbrido de populações F_2 ; \overline{MP} = média das duas populações F_2 genitoras.

Para estimar-se a depressão por endogamia (I) em porcentagem foi empregada a Equação 2:

$$I = \left[\frac{(\overline{F}_1 - \overline{F}_2)}{\overline{F}_1} \right] \times 100 \quad (2)$$

em que: \overline{F}_1 = média do híbrido comercial genitor; \overline{F}_2 = média da população F_2 após uma geração de autofecundação do híbrido. As análises foram efetuadas empregando-se o programa Genes (CRUZ, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatada a homogeneidade dos quadrados médios dos resíduos, efetuou-se a análise de variância conjunta (Tabela 2) dos 10 híbridos de populações F_2 , das cinco populações F_2 genitoras e dos cinco híbridos comerciais, havendo significância do efeito de tratamentos para FM e MG ($p < 0,01$) e AP ($p < 0,05$). O efeito da interação tratamentos por locais foi significativo para FM ($p < 0,01$) e AP ($p < 0,05$) e não significativo para MG e AE.

O contraste de grupos (híbridos de F_2 versus F_1), excluindo-se os dados referentes aos genitores F_2 , foi altamente significativo para FM e MG ($p < 0,01$) e não significativo para AP e AE (Tabela 2). Para o efeito de grupos por locais foi detectada a não significância de FM, AE e MG, indicando comportamento não diferencial dos híbridos nos dois locais de avaliação, o que é um resultado altamente interessante para o programa de melhoramento em questão. Os coeficientes de variação de todos os caracteres avaliados estão dentro dos limites aceitáveis para experimentação agrícola, conforme SCAPIM et al. (1995).

Destacaram-se três híbridos de F_2 (Pop. 12 x Pop. 10, Pop. 13 x Pop. 10, Pop. 15 x Pop. 14) com maiores médias de produtividade de grãos, de 9.922, 9.911 e 9.599 kg ha⁻¹, respectivamente, por não diferirem estatisticamente de todos os híbridos comerciais (exceto o HC12), confirmando-se que híbridos de populações F_2 são uma das opções para o desenvolvimento de híbridos com heterose (Tabela 3). Em estudo anterior, BERNINI e PATERNIANI (2012) demonstraram o potencial de produção desses híbridos, com destaque para Pop. 13 x Pop. 10, com 8.777 kg ha⁻¹.

Os resultados de MG com média de híbridos de F_2 (8.890 kg ha⁻¹) foi 10,8% menor que dos híbridos F_1 , de 9.963 kg ha⁻¹, corroborando RIVERA et al. (2005), que verificaram que o rendimento médio de grãos de cruzamentos entre híbridos de F_1 do grupo 1 (4.676 kg ha⁻¹) foi 10,5% menor que o dos híbridos genitores F_1 (5.225 kg ha⁻¹).

Para florescimento masculino (Tabela 3), todos híbridos de populações F_2 foram classificados como mais precoces, com médias de 59 d.a.s. (Mococa) e 65 d.a.s. (Palmital), e como mais tardios destacaram-se a Pop. 13, com 61 d.a.s., e o HC13, com 64 d.a.s. em Mococa. Ressalta-se que a média de FM dos híbridos de F_2 foi muito próxima à dos genitores F_2 e dos híbridos comerciais, evidenciando que as populações em estudo atendem aos objetivos propostos para programas de melhoramento de obtenção de híbridos mais precoces.

Em Mococa e Palmital, os valores de AP apresentados para os híbridos de F_2 , genitores F_2 e híbridos comerciais não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). Os valores médios de AE oscilaram de 106 cm (Pop. 10) a 129 cm (HC13). DONÁ et al. (2011) encontraram valores menores de AE, de 113 cm e 77 cm, em Campinas e Mococa, respectivamente, no híbrido de F_2 Pop. 8 x Pop. 3.

Tabela 2. Análise de variância conjunta de florescimento masculino (FM), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e massa de grãos (MG) de 10 híbridos de populações F₂, das cinco populações F₂ e dos respectivos cinco híbridos comerciais F₁ em Mococa e Palmital (2010/11)

FV	GL	Quadrados médios			
		FM (d.a.s.)	AP (cm)	AE (cm)	MG (kg ha ⁻¹)
Blocos/locais	4	2,35	534,13	89,78	126.664,24
Tratamentos (T)	19	6,94**	519,79*	257,78 ^{ns}	17.533.662,45**
Híbridos F ₂ (HF ₂)	9	2,89*	205,46 ^{ns}	98,59 ^{ns}	5.401.465,21**
Híbridos F ₁ (HF ₁)	4	9,03**	421,16 ^{ns}	357,55 ^{ns}	19.437.691,27**
Populações F ₂ (Pop. F ₂)	4	10,06**	435,83*	147,50 ^{ns}	1.308.451,24*
Grupo 1 (HF ₁ versus HF ₂)	1	24,93**	14,45 ^{ns}	24,93 ^{ns}	23.019.883,53**
Grupo 2 (HF ₂ versus Pop. F ₂)	1	17,77**	3.422,50**	422,50 ^{ns}	52.304.467,58**
Locais (L)	1	846,40**	25.704,90**	10.048,90**	8.444,95 ^{ns}
T x L	19	5,07**	481,01*	158,39 ^{ns}	95.132,04 ^{ns}
HF ₂ x L	9	0,94 ^{ns}	450,94*	197,26 ^{ns}	43.700,17 ^{ns}
HF ₁ x L	4	17,46**	510,33*	254,71 ^{ns}	99.788,74 ^{ns}
Pop. F ₂ x L	4	3,28 ^{ns}	553,66 ^{ns}	35,50 ^{ns}	163.098,39 ^{ns}
Resíduo	56	1,43	189,00	197,01	670.910,74
Médias					
T		63	218	116	8.559
HF ₂		62	222	117	8.890
HF ₁		63	223	118	9.963
Pop. F ₂		67	222	121	6.605
CV (%)		1,9	7,4	11,5	9,4

^{ns}, * e **: não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F; d.a.s.: dias após semeadura

Tabela 3. Médias de massa de grãos (MG) e altura de espiga (AE) nos dois locais e de florescimento masculino (FM) e altura de plantas (AP) por local de 10 híbridos de populações F₂, cinco populações F₂ e dos respectivos cinco híbridos comerciais F₁ em Mococa e Palmital (SP) no ano agrícola 2010/11

Híbridos F ₂	MG ¹ (kg ha ⁻¹)	FM (d.a.s.)		AP (cm)		AE (cm)
	Mococa e Palmital	Mococa	Palmital	Mococa	Palmital	Mococa e Palmital
Pop. 12 x Pop. 10	9.922 a-d	58 a	66 a	223 a	247 a	121 a
Pop. 13 x Pop. 10	9.911 a-d	60 a	66 a	198 a	257 a	121 a
Pop. 14 x Pop. 10	8.368 c-g	60 a	65 a	195 a	235 a	111 a
Pop. 15 x Pop. 10	9.014 b-f	59 a	65 a	207 a	237 a	116 a
Pop. 13 x Pop. 12	6.755 f-h	60 a	66 a	182 a	248 a	113 a
Pop. 14 x Pop. 12	8.183 c-h	59 a	66 a	220 a	227 a	113 a
Pop. 15 x Pop. 12	9.045 b-f	58 a	65 a	208 a	237 a	118 a
Pop. 14 x Pop. 13	9.239 b-e	58 a	64 a	202 a	238 a	113 a
Pop. 15 x Pop. 13	8.870 b-f	60 a	66 a	201 a	243 a	123 a
Pop. 15 x Pop. 14	9.599 a-d	59 a	66 a	194 a	243 a	120 a
Média - híbridos F ₂	8.890	59	66	203	241	117
Genitores F₂						
Pop. 10	6.198 g-h	60 a	69 a	192 a	210 a	106 a
Pop. 12	5.847 h	59 a	66 a	194 a	213 a	108 a
Pop. 13	6.960 e-h	61 ab	67 a	175 a	240 a	128 a
Pop. 14	5.917 h	60 a	68 a	190 a	222 a	108 a
Pop. 15	7.540 d-h	59 a	64 a	203 a	228 a	111 a
Média - genitores F ₂	6.492	60	67	191	223	112
Híbridos F₁						
HC10	11.943 a	60 a	65 a	212 a	250 a	116 a
HC12	7.127 e-h	60 a	66 a	215 a	213 a	113 a
HC13	10.925 a-b	64 b	65 a	198 a	240 a	129 a
HC14	9.733 a-d	58 a	66 a	211 a	225 a	109 a
HC15	10.088 a-c	60 a	69 a	216 a	250 a	123 a
Média - híbridos F ₁	9.963	60	66	210	236	118
Média geral	8.559	60	66	202	235	116
CV (%)	9,4	2,2	1,6	9,9	4,5	11,5

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey (p<0,05); ¹: dados corrigidos para 14% umidade e estande ideal; HC: híbrido comercial

As estimativas de depressão por endogamia para AP, AE e FM foram mais baixas do que as obtidas para MG, evidenciando que os efeitos de dominância são menos importantes para essas características (Tabela 4). A depressão por endogamia média foi de 6,1% para altura de planta e espiga. SCAPIM et al. (2006) encontraram predominância de efeito aditivo e depressão por endogamia de 10% para altura de planta e espiga. Os híbridos deste estudo apresentaram alta estimativa de depressão por endogamia para MG: de 48,1% no HC10, de 36,3% no HC13 e de 39,2% no HC14; para FM, foi de 6,2% no HC15, para AP e AE, foram de 13,0% e 8,6%, respectivamente, no HC10, e de 7,7% e 9,7%, respectivamente, no HC15 (Tabela 4).

Os híbridos que apresentaram baixas estimativas de I% para MG foram HC12 (18,0%) e HC15 (25,3%). KOUTSIKA-SOTIRIOU e KARAGOUNIS (2005) verificaram que o híbrido comercial Prezia apresentou estimativa de I% baixa, com valor de 28,9%, e os híbridos Constanza e Nubia apresentaram estimativas maiores, de 44,3% e 54,7%, respectivamente.

Tabela 4. Estimativas de índice de depressão por endogamia (I) de cinco híbridos comerciais de milho após uma geração de autofecundação (F_2) para massa de grãos (MG), florescimento masculino (FM), altura de planta (AP) e altura de espiga (AE) no ano agrícola 2010/11

Trats	MG			FM		
	$\bar{F}_1^{(1)}$	$\bar{F}_2^{(2)}$	I (%)	$\bar{F}_1^{(1)}$	$\bar{F}_2^{(2)}$	I (%)
HC10	11.943	6.198	48,1	62	64	-3,2
HC12	7.127	5.847	18,0	63	62	0,8
HC13	10.925	6.960	36,3	65	64	1,5
HC14	9.735	5.917	39,2	62	64	-3,2
HC15	10.088	7.540	25,3	65	61	6,2

Trats	AP			AE		
	$\bar{F}_1^{(1)}$	$\bar{F}_2^{(2)}$	I (%)	$\bar{F}_1^{(1)}$	$\bar{F}_2^{(2)}$	I (%)
HC10	231	201	13,0	116	106	8,6
HC12	214	204	4,7	113	108	4,4
HC13	219	207	5,5	129	128	0,8
HC14	218	206	5,5	109	108	0,9
HC15	233	215	7,7	123	111	9,7

⁽¹⁾: média do híbrido na geração F_1 ; ⁽²⁾: média do híbrido na geração F_2

A depressão por endogamia para MG ao se passar da geração F_1 para F_2 variou de 18,0% na HC12 a 48,1% na HC10 (Tabela 4). RIVERA et al. (2005) encontraram valores de depressão por endogamia no rendimento de grãos de 32% e 38% ao passar da geração F_1 para F_2 , para os grupos 1 e 2, respectivamente, selecionados quanto à divergência genética de híbridos comerciais. DE LÉON et al. (1998) verificaram I% mais baixos, de 6% a 9%, em híbridos duplos para produtividade. PACHECO et al. (2002) obtiveram para produtividade de grãos, em variedades elite de milho, estimativa de depressão por endogamia que variou de 34,6% a 59,2%, com média de 49,1%, confirmando que o baixo valor de I% é esperado em população melhorada por causa de sua baixa frequência de alelos deletérios, devida ao processo de seleção já ocorrido.

As estimativas de heterose média estão apresentadas na Tabela 5 para os caracteres FM, AP, AE e MG. Para o caráter AP verificou-se amplitude de variação de porcentagens de H_{MP} de 3,7% a 16,1%, respectivamente, nos híbridos Pop. 15 x Pop. 14 e Pop. 12 x Pop. 10. Para AE, o maior H_{MP} foi obtida para o híbrido Pop. 12 x Pop. 10 (12,5%), enquanto os híbridos Pop. 14 x Pop. 13 e Pop. 13 x Pop. 12 apresentaram H_{MP} negativos de -4,4% e -4,2%, respectivamente. Quanto ao FM, a amplitude de variação de H_{MP} foi de -4,6%, no híbrido Pop. 14 x Pop. 13, a 0,3%, no híbrido Pop. 15 x Pop. 13. Nos caracteres AE e FM, alguns cruzamentos apresentaram heterose negativa, indicando que os desvios de dominância atuaram predominantemente no sentido de diminuí-los. RIVERA et al. (2005) encontraram, para AP, AE e FM, heterobeltiose de -1,8%, -3,7% e -3,6%, respectivamente, nos cruzamentos entre híbridos comerciais F_1 .

FALCONER (1989) indica que na geração F_2 de um híbrido simples, mesmo quando obtido por inter cruzamento, a heterose é apenas a metade da obtida pela F_1 . Isso se deve à mudança das frequências genotípicas, mesmo quando as frequências alélicas mantêm-se constantes, o que implica na redução do valor fenotípico médio devido a um incremento do coeficiente de consanguinidade por endogamia e a um aumento da frequência de genótipos homozigotos

Tabela 5. Estimativas da heterose dos híbridos de populações F_2 em relação à média das populações F_2 (H_{MP}), heterose relativa ($H_{MP}\%$) para massa de grãos (MG), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e florescimento masculino (FM) em Mococa e Palmital (2010/11)

Híbridos F_2	MG		AP		AE		FM	
	(kg ha ⁻¹)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(d.a.s.)	(%)
Pop. 12 x Pop. 10	3.899	64,7	33	16,1	13	12,5	-1,5	-2,4
Pop. 13 x Pop. 10	3.332	50,6	23	11,4	3	3,0	-1,3	-2,0
Pop. 14 x Pop. 10	2.310	38,1	12	5,7	4	4,2	-1,6	-2,5
Pop. 15 x Pop. 10	2.145	31,2	14	6,6	7	6,9	-0,9	-1,4
Pop. 13 x Pop. 12	351	5,4	10	4,7	-5	-4,2	-0,2	-0,3
Pop. 14 x Pop. 12	2.301	39,1	18	9,0	5	4,4	-0,9	-1,4
Pop. 15 x Pop. 12	2.352	35,1	12	6,0	9	8,0	-0,7	-1,0
Pop. 14 x Pop. 13	2.800	43,4	14	6,6	-5	-4,4	-3,0	-4,6
Pop. 15 x Pop. 13	1.619	22,3	11	5,0	3	2,7	0,2	0,3
Pop. 15 x Pop. 14	2.870	42,6	8	3,7	10	9,5	-0,1	-0,1

(PUGH e LAYRISSE, 2005). Estimativas elevadas de heterose indicam predominância de efeitos genéticos não aditivos (dominância e sobredominância) na manifestação da produtividade. Por outro lado, populações com índices de endogamia (I%) menores apresentam potencial para a extração de linhagens e para a seleção recorrente intrapopulacional. Nesse sentido, destaca-se a importância dessas estimativas para a escolha da melhor estratégia a ser seguida em programas de melhoramento de milho.

Para MG, os híbridos Pop. 12 x Pop. 10 e Pop. 13 x Pop. 10 destacaram-se com as maiores estimativas de H_{MP} (3.899 kg ha⁻¹ e 3.332 kg ha⁻¹, respectivamente) e heterose relativa (de 64,7% e 50,6%, respectivamente). Resultado semelhante foi encontrado por PATERNIANI et al. (2010), que obtiveram estimativas de H_{MP} de 3.682 kg ha⁻¹ a 1.097 kg ha⁻¹ nos híbridos de F₂. ESCORCIA-GUTIÉRREZ et al. (2010) observaram valores de heterose relativa de -15,9% a 22,6% no peso de espigas para os cruzamentos F₂ 37 (6x8) e 3 (1x4), respectivamente. PARRA et al. (2010) obtiveram heterose média de 55% para cruzamentos envolvendo populações oriundas de híbridos comerciais e foi visto que a heterose média em cruzamentos entre populações está relacionada ao grau de adaptação, melhoramento e endogamia do germoplasma.

4. CONCLUSÃO

As estimativas de depressão por endogamia para produtividade tiveram grande amplitude de variação, indicando diferentes comportamentos nos híbridos comerciais da geração F₁ para F₂. Houve também diferentes manifestações da heterose nos híbridos de populações F₂. A Pop. 12 apresentou baixa estimativa de depressão por endogamia para produtividade de grãos e florescimento masculino, enquanto que a Pop. 15 se destacou apenas para produtividade, sendo assim indicadas na obtenção de linhagens promissoras e na seleção recorrente intrapopulacional. A Pop. 10 obteve alto índice de depressão por endogamia para as características produtividade de grãos, altura de planta e espiga, sendo recomendada para programas de híbridos de populações F₂ e na seleção recorrente recíproca. Foram evidenciados dois híbridos de populações F₂ promissores (Pop. 12 x Pop. 10 e Pop. 13 x Pop. 10), com produtividade compatível com as testemunhas comerciais e elevada estimativa de heterose média.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa de mestrado, e à FAPESP, pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

- BEAL, W.J. Crossing and hybridizing plants. Lansing: 15th Republic Michigan Board of Agriculture, 1870.
- BERNINI, C.S.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. Estimativas de parâmetros de heterose em híbridos de populações F₂ de milho. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.42, p.56-62, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000100008>
- BUSBICE, T.H. Predicting yield of synthetic varieties. Crop Science, v.10, p.265-269, 1970. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1970.0011183X001000030017x>
- CRUZ, C.D. Aplicativo computacional em genética e estatística: programa genes. Viçosa: UFV, 2006. 382p.
- DE LÉON, H.; JARAMILLO, A.; MARTINEZ, G.; RODRIGUEZ, S. Híbridos dobles de maíz de baja depresión endogámica em F₂. Agronomía Mesoamericana, v.9, p.38-41, 1998.
- 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, v.70, p.767-774, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000400006>
- EAST, E.M. Inbreeding in corn. Connecticut Agricultural Experimental Station Report, 1908. p.419-428.
- ESCORCIA-GUTIÉRREZ, N.; MOLINA-GALÁN, J.D.; CASTILLO-GONZÁLEZ, F.; MEJIA-CONTRERAS, J.A. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana, v.33, p.271-279, 2010.
- FALCONER, D.S. Introduction to quantitative genetics. 3 ed. New York: Longman, 1989. 340p.
- FALCONER, D.S.; MacKAY, T.F.C. Introduction to quantitative genetics. 4.ed. London: Longman, 1996. 464p.
- FASOULAS, A.C. The Honeycomb Breeding: Principles and Applications. In: JANICK, J. (Ed.). Plant Breeding Review. Oxford: John Wiley & Sons, Inc., 1988. v.18, p.177-250. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470650158.ch4>
- HALLAUER, A.R. Methods used in developing maize inbred lines. Maydica, v.35, p.1-16, 1990.
- JONES, D.F. The effects of inbreeding and crossbreeding on development. Connecticut Agricultural Experimental Station Bulletin, v.207, p.1-100, 1918.
- KIESSELBACH, T.A. The use of advanced generation hybrid as parents of double cross seed corn. Journal American Society of Agronomy, v.22, p.614-622, 1930. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1930.00021962002200070006x>
- KOUTSIKA-SOTIRIOU, M.S.; KARAGOUNIS, C.H.A. Assessment of maize hybrids. Maydica, v.50, p.63-70, 2005.
- LIMA, M.; MIRANDA-FILHO, J.B.; GALLO, P.B. Inbreeding depression in Brazilian populations of maize (*Zea mays* L.). Maydica, v.29, p.203-215, 1984.
- PACHECO, C.A.P.; SANTOS, M.X.; CRUZ, C.D.; PARENTONI, S.N.; GUIMARÃES, P.E.O.; GOMES E GAMA, E.E.; SILVA, A.E.;

- CARVALHO, H.W.L.; VIEIRA JÚNIOR, P.A. Inbreeding depression of 28 maize elite open pollinated varieties. *Genetics and Molecular Biology*, v.25, p.441-448, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-47572002000400014>
- PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; BERNINI, C.S.; GUIMARÃES, P.S.; DONÁ, S.; GALLO, P.B.; DUARTE, A.P. Potencial produtivo e heterose de híbridos de populações F₂ de milho no Estado de São Paulo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v.27, p.29-46, 2010.
- PARRA, J.R.; RIVERA, M.M.M.; GONZÁLEZ, J.J.S.; LARIOS, L.L.C.; MÁRQUES, M.R.; DÍAZ, R.J.L. Heterosis and combining ability among maize narrow-base populations. *Maydica*, v.55, p.75-83, 2010.
- PUGH T.; LAYRISSE, A. Utilización de generaciones avanzadas de híbridos simples como progenitores de híbridos dobles de maíz. *Agronomia Tropical*, v.55, p.103-116, 2005.
- RIVERA, M.M.M.; PARRA, J.R.; GONZÁLEZ, J.J.S.; DÍAZ, J.L.R.; LARIOS, L.C.; MUNGUÍA, S.M.; PEÑA, S.H.; BONAPARTE, M.C. Diversidad genética y heterosis entre híbridos comerciales de maíz de Jalisco liberados em la década de 1990. *Revista Fitotecnia Mexicana*, v.28, p.115-126, 2005.
- SAWAZAKI, E. Melhoramento da cultivar de milho IAC Maya. Campinas: Fundação Cargill, 1980. 49p.
- 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*, v.30, p.683-686, 1995.
- SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J.B.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RODOVALHO, M.A.; SILVA, R.M.; MORTELE, L.M. Componentes genéticos de médias e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. *Ciência Rural*, v.36, p.63-69, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000100006>
- SHULL, G.H. The composition of maize. *American Breeders Association*, v.4, p.296-301, 1908.
- SHULL, G.H. A pure line method of corn breeding. *American Breeders Association*, v.5, p.51-59, 1909. <http://dx.doi.org/10.1093/jhered/os-5.1.51>
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- VIANA, R.T.; GOMES E GAMA, E.E.; NASPOLINI FILHO, V.; MÔRO, J.R.; VENCOVSKY, R. Inbreeding depression of several introduced populations of maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, v.27, p.151-157, 1982.
- WRICKE, G.; WEBER, W.E. Quantitative genetics and selection in plant breeding. New York: Walter de Gruyter, 1986. 406p. <http://dx.doi.org/10.1515/9783110837520>