

Cruzamento dialélico parcial entre variedades locais do Paraná e variedades sintéticas de milho

Vanessa Kostetzer⁽¹⁾, Rosângela Maria Pinto Moreira⁽¹⁾ e Josué Maldonado Ferreira⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Ciências Biológicas, Caixa Postal 6001, CEP 86051-990 Londrina, PR. E-mail: vakoste@gmail.com, rosang@uel.br, josuemf@uel.br

Resumo – Os objetivos deste trabalho foram determinar as capacidades geral e específica de combinação entre variedades locais e sintéticas de milho e identificar cruzamentos que reúnam características de interesse agrônomo, com vistas à síntese de variedades. O dialelo parcial foi realizado com 11 variedades sintéticas cruzadas com cinco variedades locais do Paraná. As combinações híbridas resultantes foram avaliadas juntamente com as cinco variedades locais genitoras e com cinco híbridos comerciais, em blocos completos ao acaso com quatro repetições, em São João do Triunfo e Londrina, PR. Houve interação genótipo x local para a maioria dos caracteres avaliados, com predominância da interação da capacidade geral de combinação x local. As melhores estimativas de capacidade geral de combinação do grupo dos sintéticos foram observadas para ST09 e ST04 e, no grupo das variedades, para MC45 e IAPAR 50, considerando-se o conjunto das características e de locais. As melhores combinações híbridas (MC34 x ST04, IAPAR 50 x ST07, MC47 x ST09, MC45 x ST02, MC51 x ST04 e MC45 x ST01) apresentaram estimativas positivas de capacidade específica de combinação quanto à produtividade, em ambos os locais. Existem combinações híbridas com potencial para síntese de novas variedades com padrões de produtividade, altura de planta, posição relativa da espiga e percentagem de espigas danificadas e de plantas acamadas e quebradas melhores que os observados em variedades locais per se e mais semelhantes aos dos híbridos comerciais.

Termos para indexação: *Zea mays*, capacidade de combinação, cruzamentos, síntese de variedades.

Partial diallel cross between landraces from Paraná and synthetic varieties of maize

Abstract – The objectives of this work were to determine the general and specific combining ability between landraces and synthetic varieties of maize and to identify the crosses that combine important agronomic traits, to develop new maize varieties. A partial diallel was done with 11 synthetic varieties crossed with five landraces. The crosses were evaluated along with the five parental landraces and five commercial hybrids, in randomized complete block design, with four replicates, in São João do Triunfo and Londrina, PR, Brazil. There was genotype x location interaction for most characters, predominantly from the general combining ability x location interaction. The best estimates of general combining ability of the synthetic group were observed for ST09 and ST04 and, in the variety group, for MC45 and IAPAR 50, taking into consideration the set of traits and locals. The bests crosses (MC34 x ST04, IAPAR 50 x ST07, MC47 x ST09, MC45 x ST02, MC51 x ST04, and MC45 x ST01) had positive estimates of specific combining ability for grain yield in both locals. There are crosses with potential to develop new maize varieties with better grain yield, plant height, ear position, percentage of damaged ears and of lodging and broken stalks than individual maize landraces, and more similar to the performance of commercial corn hybrids.

Index terms: *Zea mays*, combining ability, crosses, varieties development.

Introdução

As variedades locais ou crioulas têm sido cultivadas por agricultores familiares em diversas localidades do Brasil, que mantêm a tradição de produzir suas próprias sementes de milho, por elas apresentarem características específicas relacionadas ao sistema de cultivo tradicional, à alimentação humana dos animais, cujo excedente pode ser comercializado. Essas

variedades foram formadas pela ação de agricultores familiares ou indígenas, por meio de processos de melhoramento empírico, com a seleção de plantas mais adaptadas às regiões em que foram desenvolvidas (Paterniani et al., 2000).

Normalmente, as variedades locais são cultivadas em solos com baixa fertilidade, com reduzido uso de insumos agrícolas, e sob condições de estresse. Assim, vários autores relatam a rusticidade, a resistência às

doenças, a tolerância a pragas, a qualidade fisiológica de sementes, a estabilidade produtiva e a eficiência no uso de nutrientes das variedades locais. Essas variedades são possíveis fontes de genes em programas de melhoramento (Spaner et al., 1995; Bisognin et al., 1997; Machado et al., 1998; Coimbra et al., 1999; Machado et al., 1999; Paterniani et al., 2000; Morello et al., 2002; Fidelis et al., 2007). Em condições rústicas de cultivo, as variedades locais são competitivas em relação às cultivares comerciais (Machado et al., 1998; Machado et al., 1999; Araújo & Nass, 2002), e podem ser uma alternativa economicamente viável para sistemas de cultivos com baixo investimento tecnológico e financeiro (Sandri & Tofaneli, 2008).

Os resultados da avaliação do potencial de rendimento de grãos de genótipos de milho, com diferentes graus de heterose, em três safras, obtidos por Coimbra et al. (1999) indicaram que não há necessidade de uso de híbridos comerciais, na ausência de técnicas de cultivo recomendadas pela pesquisa, principalmente, em razão da impossibilidade de obtenção de incremento na produtividade de grãos. Contudo, as variedades locais são, geralmente, mais tardias, com maior altura de planta e de espiga e maior frequência de plantas acamadas ou quebradas, em relação às cultivares comerciais mais modernas (Ferreira et al., 2009).

Uma das formas de se determinar o potencial genético das variedades locais é a avaliação destas em cruzamentos entre si, como apresentado por Ferreira et al. (2009), e com outros tipos de cultivares (Pérez-Velásquez et al., 1995; Calderón et al., 1999; Cruz-Larios et al., 2003). Pérez-Velásquez et al. (1995) avaliaram um dialelo entre cinco variedades crioulas da Colômbia e três populações melhoradas (Tuxpeño-1, Suwan-1 e ETO) e ressaltaram a necessidade da avaliação dos germoplasmas de milho, para ampliação da base genética e identificação de fontes genéticas úteis para os programas de melhoramento genético tropical.

Os objetivos deste trabalho foram: determinar as capacidades geral e específica de combinação de variedades locais, em cruzamentos com variedades sintéticas de milho de ciclo precoce a intermediário, com arquitetura moderna; comparar o desempenho dessas combinações híbridas com as variedades locais individuais e híbridos comerciais; identificar combinações híbridas que aliem produtividade, rusticidade e demais caracteres de interesse agrônomo,

para a síntese de variedades a serem usadas em programas de melhoramento.

Material e Métodos

Na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), durante a safra 2003/2004, foram realizados cruzamentos entre 11 variedades sintéticas (ST01 a ST11, desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento Genético do Departamento de Biologia Geral da UEL) e cinco variedades de milho (quatro variedades locais, mantidas e utilizadas por agricultores familiares da região Centro-Sul do Paraná, e a variedade IAPAR 50, desenvolvida pelo Instituto Agrônomo do Paraná), segundo o esquema dialélico parcial 11x5. A caracterização das variedades participantes do dialelo e das testemunhas utilizadas no experimento está apresentada na Tabela 1.

Na safra 2004/2005, foram avaliados dois experimentos com 65 tratamentos (55 combinações híbridas do dialelo parcial 11x5, cinco variedades genitoras e cinco híbridos comerciais, como testemunhas); um dos experimentos foi instalado e conduzido por agricultores familiares do Município de São João do Triunfo, PR (altitude de 840 m, 25°41'S e 50°21'W), e outro na Fazenda Escola da UEL, em Londrina, PR (altitude de 576 m, latitude 23°20'S e 51°33'W).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso com quatro repetições, em parcelas formadas por fileiras duplas de 4 m de comprimento, no espaçamento de 1x0,20 m, em São João do Triunfo, e de 0,90x0,20 m em Londrina.

Na propriedade do agricultor familiar, foram adotadas práticas orgânicas de cultivo, e na UEL não foram utilizadas adubações de plantio ou cobertura, herbicidas e inseticidas. Nos dois locais, empregaram-se capinas manuais para o controle das plantas invasoras.

Os caracteres avaliados foram: produtividade de grãos ($Mg\ ha^{-1}$, corrigidos para estande ideal de 40 plantas por parcela e umidade de 13,5%, pela covariância); percentagem de espigas danificadas; dias para florescimento (média de dias para o florescimento masculino e feminino); altura média da planta (cm); posição relativa da espiga (razão da altura da inserção da espiga pela altura média); percentagem de plantas acamadas por parcela; e percentagem de plantas quebradas por parcela. Os dados em percentagem

foram transformados para arco seno $[(Y + 3/8)/(n + 3/4)]^{0.5}$, em que Y é o número de ocorrências de indivíduos com uma determinada característica, em uma amostra de tamanho n (Sokal & Rohlf, 1997).

As análises individuais de variância dos dados foram realizadas com a decomposição dos efeitos de tratamentos em efeitos de testemunhas, variedades genitoras e das combinações híbridas e seus respectivos contrastes. O efeito de cruzamento foi, ainda, decomposto nos componentes da análise do dialelo parcial 11x5, segundo o modelo dialélico proposto por Griffing (1956), adaptado para dialelos parciais (Cruz et al., 2004): $Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{e}_{ij}$, em que: Y_{ij} é o valor médio da combinação híbrida entre o i-ésimo genitor do grupo das variedades sintéticas e do j-ésimo genitor do grupo das variedades; m é a média geral das combinações híbridas; g_i é o efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo genitor do grupo das sintéticas; g_j é o efeito da capacidade geral de combinação do j-ésimo genitor do grupo variedades genitoras; s_{ij} é o efeito da capacidade específica de combinação entre genitores de ordem i e j dos grupos das sintéticas e das variedades, respectivamente; \bar{e}_{ij} é o erro experimental médio.

As estimativas de capacidade geral de combinação (\hat{g}_i e \hat{g}_j) e capacidade específica de

combinação (\hat{s}_{ij}) foram calculadas pelas expressões: $\hat{g}_i = \bar{Y}_i - m$; $\hat{g}_j = Y_j - m$; $\hat{s}_{ij} = Y_{ij} - (m + \hat{g}_i + \hat{g}_j)$, respectivamente, em que \bar{Y}_i é a média geral das combinações híbridas com o i-ésimo genitor, e \bar{Y}_j é a média geral das combinações híbridas com o j-ésimo genitor.

A análise conjunta dos experimentos e os respectivos desdobramentos das fontes de variação foram realizados conforme Miranda Filho & Vencovsky (1995), tendo-se considerado efeitos fixos de tratamentos e ambientes. A comparação de médias dos tratamentos, dentro de cada local, foi realizada pelo teste de Scott & Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

As estimativas de coeficiente de variação das análises conjuntas (CV%) foram baixas quanto à produtividade, altura de planta e dias para florescimento, e altas apenas para os caracteres com unidade em porcentagem, mesmo após a transformação angular, seguindo a tendência natural para esses tipos de dados (Tabela 2).

O local de realização dos experimentos apenas não apresentou efeito significativo sobre a porcentagem de plantas quebradas (Tabela 2). Em geral, foram observadas médias maiores para as variáveis produtividade, altura de planta, e número de dias para o florescimento, e médias menores para porcentagem

Tabela 1. Caracterização das variedades de milho utilizadas no dialelo parcial e testemunhas comerciais.

Material	Tipo do grão	Cor do grão	Ciclo da planta	Porte da planta
Grupo ST – Variedades sintéticas				
ST01	Meio dente	Laranja	Precoce	Baixo/médio
ST02	Duro	Laranja	Precoce	Médio
ST03	Meio dente	Amarelo	Precoce	Baixo/médio
ST04	Duro	Laranja	Precoce	Médio
ST05	Meio dente	Alaranjado	Precoce	Baixo
ST06	Meio dente	Laranja	Precoce	Médio
ST07	Meio dente	Laranja	Precoce	Médio
ST08	Duro	Laranja	Precoce	Médio
ST09	Meio dente	Laranja	Precoce	Médio
ST10	Duro	Laranja	Precoce	Baixo
ST11	Duro	Laranja	Intermediário	Médio
Grupo VAR – Variedades locais (MC) e do IAPAR (IPR)				
MC34 (Amarelão Diwietz)	Dente	Amarelo	Tardio	Alto
MC45 (Milho Antigo)	Dente	Amarelo	Tardio	Alto
MC47 (Milho Caxoeira)	Dente	Amarelo	Tardio	Alto
MC51 (Milho Pires)	Dente	Amarelo	Tardio	Alto
IPR50 (IAPAR 50)	Dente	Amarelo	Tardio	Alto
Testemunhas comerciais				
AGN3150 (Híbrido triplo)	Duro	Avermelhado	Precoce	Baixo
DKB747 (Híbrido duplo)	Duro	Alaranjado	Precoce	Médio
DOW8420 (Híbrido simples modificado)	Duro	Alaranjado	Precoce	Baixo
AS3466TOP (Híbrido triplo)	Duro	Avermelhado	Precoce	Baixo
DKB333B (Híbrido simples)	Meio dente	Alaranjado	Precoce	Médio

de espigas danificadas e de plantas acamadas, no experimento conduzido em São João do Triunfo, em relação ao conduzido em Londrina, em que não foram empregados insumos agrícolas (Tabela 3). A média de produtividade nos dois locais indica que as condições ambientais em São João do Triunfo foram mais favoráveis, com produção de quase 110% a mais do que em Londrina.

Os efeitos de tratamentos foram significativos para todos os caracteres, o que indica comportamento não uniforme entre as cultivares avaliadas (Tabela 2). Os efeitos de interação tratamento x local não foram significativos apenas para percentagem de plantas acamadas e quebradas, o que indica comportamento diferenciado dos genótipos nos ambientes, para os demais caracteres. Contudo, a interação testemunha x local foi significativa apenas para percentagem de espigas danificadas, e a interação variedades x local foi significativa apenas para altura da planta. Isto mostra manutenção do desempenho relativo entre as testemunhas e entre as variedades genitoras, nos dois locais. Os efeitos da interação cruzamento x local, da interação do contraste (cruzamentos vs. testemunhas) x local e [(cruzamentos e testemunhas) vs. variedades] x locais foram os efeitos que mais contribuíram para a interação tratamento x local.

Os efeitos significativos para cruzamentos x locais podem ser atribuídos ao seu maior número de graus de liberdade e, de acordo com Pacheco et al. (1999), pode-se considerar que os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade são determinados da mesma maneira que os efeitos genéticos aditivos e de dominância, de modo que uma combinação híbrida recebe metade do efeito médio da capacidade geral de combinação de cada um de seus pais e permanece a capacidade específica de combinação, dependente das combinações específicas médias.

O contraste das médias dos cruzamentos vs. testemunhas, em cada local, não foi significativo para a produtividade em São João do Triunfo, e para percentagem de espigas danificadas, em Londrina. Para as demais características, os híbridos comerciais apresentaram, em média, desempenho significativamente superior em ambos os locais (Tabela 3). Com exceção do caráter percentagem de espigas danificadas, em Londrina, as combinações híbridas apresentaram desempenho médio significativamente superior em relação às variedades que serviram como genitoras nos dialelos. Isto mostra que a utilização dos sintéticos nos cruzamentos com as variedades locais foi importante para a introdução de alelos, que conferiram melhores desempenhos

Tabela 2. Quadrados médios e níveis de significância das análises conjuntas de médias de tratamentos do dialelo parcial 11x5, com médias e coeficientes de variação (CV%) para: produtividade (PGC), percentagem de espigas danificadas (ED), dias para florescimento (FLO), altura de planta (AP), posição relativa da espiga (PRE), e percentagens de acamamento (AC) e de plantas quebradas (QU).

Fonte de variação	GL	PGC	ED ⁽¹⁾	FLO	AP	PRE (x10 ⁴)	AC ⁽¹⁾	QU ⁽¹⁾
Local (L)	1	682,43**	737,65**	3002,4**	8.927,4**	162,13**	7127,9**	6.9510 ^{ns}
Tratamento (Trat)	64	1,0055**	22,134**	8,3848**	628,30**	10,296**	52,618**	21,336**
Testemunha (Test)	4	0,8251*	10,000 ^{ns}	12,725**	294,42**	4,8795**	13,918 ^{ns}	12,156 ^{ns}
Variedade (Var)	4	1,4901**	29,409**	8,3881**	589,57**	12,312**	24,337 ^{ns}	41,043**
Capacidade geral de combinação – sintéticos (CGC–ST)	54	0,4624**	18,629**	4,5532**	157,92**	5,5292**	34,483**	13,586**
Capacidade geral de combinação – variedades (CGC–Var)	10	1,2602**	33,904**	9,5698**	310,11**	14,281**	34,157*	22,715**
Capacidade específica de combinação (CEC)	4	0,4681 ^{ns}	20,639*	30,699**	975,95**	24,112**	168,14**	41,434**
Capacidade específica de combinação (CEC)	40	0,2624 ^{ns}	14,608**	0,6844 ^{ns}	38,067 ^{ns}	1,4829 ^{ns}	21,199 ^{ns}	8,5193 ^{ns}
Cruz vs. Test	1	2,3650**	74,632**	60,834**	15.747,0**	132,77**	411,39**	281,73**
(Cruz e Test) vs. Var	1	27,757**	178,39**	145,47**	12.400,9**	158,82**	941,07**	137,32**
Trat x L	64	0,6804**	19,236**	0,9556**	84,857**	1,8441*	20,219 ^{ns}	7,4557 ^{ns}
Test x L	4	0,6144 ^{ns}	35,309**	0,5230 ^{ns}	29,280 ^{ns}	1,7972 ^{ns}	11,665 ^{ns}	2,4445 ^{ns}
Var x L	4	0,3300 ^{ns}	5,3920 ^{ns}	0,3326 ^{ns}	178,64**	0,4875 ^{ns}	3,2295 ^{ns}	8,1630 ^{ns}
Cruz x L	54	0,6261**	16,278**	0,9576**	50,232 ^{ns}	1,8123*	20,487 ^{ns}	7,8241 ^{ns}
CGC–ST x L	10	1,7448**	28,448**	1,4234**	91,503*	2,4767*	26,669 ^{ns}	12,203 ^{ns}
CGC–VAR x L	4	1,1666**	19,843*	1,6571*	85,268 ^{ns}	5,1952**	42,587*	9,2898 ^{ns}
CEC x L	40	0,2923 ^{ns}	12,879**	0,7712*	36,411 ^{ns}	1,3079 ^{ns}	16,731 ^{ns}	6,5828 ^{ns}
(Cruz vs. Test) x L	1	5,9454**	3,6606 ^{ns}	5,7176**	309,09**	10,892**	95,043**	5,6993 ^{ns}
(Cruz e Test) vs. Var) x L	1	0,0150 ^{ns}	185,61**	0,3067 ^{ns}	1.577,5**	0,1278 ^{ns}	33,129 ^{ns}	6,5336 ^{ns}
Resíduo	384	0,2698	6,6766	0,5386	41,988	1,2313	16,674	6,9530
Média geral		6,49	22,05	68,5	261	0,59	17,50	14,21
CV (%)		16,02	23,43	2,14	4,97	3,74	46,68	37,10

⁽¹⁾Dados transformados para arco seno [(y + 3/8)/(n + 3/4)]^{0,5}, em que y é o número observado e n é o tamanho da amostra. ^{ns}Não significativo. ** e *significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 3. Médias das combinações híbridas do dialelo (Cruz.), variedades locais (MC) e das testemunhas (Test.), para produtividade (PGC, Mg ha⁻¹), percentagem de espigas danificadas (ED), dias para florescimento (FLO), altura de planta (AP, cm), posição r relativa da espiga (PRE), percentagens de plantas acamadas (AC) e quebradas (QU), em São João do Triunfo e Londrina, PR⁽¹⁾.

Material	São João do Triunfo							Londrina						
	PGC	ED	FLO	AP	PRE	AC	QU	PGC	ED	FLO	AP	PRE	AC	QU
MC34 x ST01	9,68a	4,0b	69,8d	254d	0,53c	1,3b	4,6b	4,01c	28,6a	61,2f	234d	0,54c	32,0a	5,9a
MC45 x ST01	9,40a	9,6b	73,9b	280c	0,60b	3,3b	7,0a	4,82b	15,2c	63,4d	261b	0,59c	17,4b	8,6a
MC47 x ST01	9,04a	5,4b	71,8c	265d	0,60b	3,8a	4,7b	4,05c	20,0b	63,8d	241c	0,59c	22,1a	13,3a
MC51 x ST01	8,39b	12,3a	72,3c	257d	0,56c	2,1b	13,6a	4,58b	25,5a	62,8e	251c	0,58c	34,1a	10,8a
IPR50 x ST01	7,90b	10,7a	72,0c	251d	0,56c	2,1b	10,6a	4,80b	16,8c	61,9e	242c	0,58c	15,8b	6,3a
MC34 x ST02	9,39a	3,8b	67,9d	238e	0,59b	1,3b	9,1a	4,57b	18,4b	60,9f	244c	0,60b	12,5b	8,7a
MC45 x ST02	9,13a	6,9b	72,4c	261d	0,60b	2,1b	7,5a	5,42a	7,1c	61,9e	256c	0,64a	11,3b	5,6a
MC47 x ST02	8,31b	10,5b	73,3c	269d	0,60b	4,8a	14,0a	4,59b	14,7c	62,8e	254c	0,60b	23,2a	6,3a
MC51 x ST02	8,64a	15,9a	73,1c	267d	0,59b	1,2b	8,4a	4,95b	16,0c	64,0d	261b	0,64a	20,0a	7,7a
IPR50 x ST02	8,08b	10,3b	72,8c	262d	0,60b	0,7b	7,3a	5,82a	16,4c	62,1e	256c	0,60b	9,5b	1,9b
MC34 x ST03	8,43b	13,6a	68,0d	268d	0,57c	0,6b	7,1b	2,85d	31,5a	61,9e	249c	0,57c	14,0b	8,1a
MC45 x ST03	9,89a	12,1a	72,1c	297c	0,58c	2,6b	2,0b	3,64c	15,4c	63,6d	272a	0,61b	4,6b	6,1a
MC47 x ST03	9,59a	11,7a	73,0c	288c	0,59b	4,3a	11,7a	2,71d	23,3b	64,7c	257c	0,59c	28,1a	10,4a
MC51 x ST03	9,00a	11,9a	75,0b	285c	0,58c	9,9a	8,8a	2,88d	20,9b	64,4c	267b	0,59c	27,3a	5,9a
IPR50 x ST03	8,65a	16,2a	71,5c	280c	0,55c	3,3b	7,4a	3,89c	29,5a	62,6e	268b	0,59c	8,1b	2,5b
MC34 x ST04	9,92a	9,1b	71,1d	257d	0,55c	0,7b	0,7b	5,11b	6,4c	62,7e	244c	0,58c	4,2b	7,2a
MC45 x ST04	8,77a	13,5a	75,4b	267d	0,59b	5,2a	5,0b	4,10c	12,3c	64,3d	264b	0,60b	30,6a	6,9a
MC47 x ST04	8,75a	17,2a	74,6b	270d	0,58c	2,0b	8,0a	4,56b	17,0b	63,6d	252c	0,59c	19,3b	9,7a
MC51 x ST04	9,76a	11,7a	72,5c	277c	0,56c	2,6b	7,2a	4,64b	19,6b	63,6d	261b	0,60b	15,8b	9,7a
IPR50 x ST04	9,14a	12,1a	73,9b	276c	0,56c	0,0b	7,2a	5,02b	13,6c	63,6d	257c	0,61b	11,5b	6,3a
MC34 x ST05	9,34a	10,4b	71,4c	259d	0,56c	2,0b	5,8b	4,54b	12,7c	62,2e	249c	0,60b	20,0b	3,2b
MC45 x ST05	9,14a	6,9b	74,0b	268d	0,59b	1,9b	5,2b	4,52b	10,8c	64,9c	256c	0,61b	21,2a	2,7b
MC47 x ST05	8,79a	12,0a	73,3c	268d	0,57c	1,3b	5,0b	4,02c	15,4c	64,4c	250c	0,60b	18,0b	3,9b
MC51 x ST05	8,05b	11,4a	74,8b	267d	0,57c	3,9a	12,4a	4,36b	18,6b	64,2d	252c	0,63a	11,5b	8,6a
IPR50 x ST05	8,28b	9,0b	73,8b	273d	0,57c	0,0b	6,0b	5,01b	9,1c	63,4d	263b	0,61b	9,3b	5,6a
MC34 x ST06	7,69b	14,1a	71,9c	257d	0,57c	4,5a	6,5a	3,48c	30,3a	60,9f	244c	0,58c	14,5b	2,5b
MC45 x ST06	9,04a	11,5a	73,6b	269d	0,59b	3,3a	6,4b	3,24d	15,3c	64,6c	263b	0,63a	22,4a	5,9a
MC47 x ST06	9,94a	6,6b	72,1c	276c	0,59b	2,1b	4,7b	3,07d	12,5c	64,6c	254c	0,61b	16,4b	6,5a
MC51 x ST06	9,85a	8,7b	72,9c	271d	0,59b	1,9b	4,6b	2,78d	16,3c	65,3c	249c	0,61b	45,1a	5,8a
IPR50 x ST06	9,45a	7,6b	72,6c	273d	0,57c	0,6b	1,3b	4,40b	12,9c	63,2d	258b	0,63a	4,4b	1,9b
MC34 x ST07	10,1a	3,3b	70,9d	265d	0,61b	2,2b	5,8b	3,65c	24,9a	62,6e	241c	0,61b	22,0a	4,5a
MC45 x ST07	9,68a	12,7a	72,3c	281c	0,59b	0,6b	5,1b	4,00c	10,4c	64,9c	262b	0,63a	28,9a	5,8a
MC47 x ST07	9,14a	10,4b	75,3b	264d	0,62a	5,3a	7,6a	3,93c	15,5c	64,8c	248c	0,63a	17,4b	4,4a
MC51 x ST07	9,72a	9,7b	72,9c	280c	0,61b	5,7a	3,9b	3,17d	24,8a	64,3d	251c	0,62b	43,8a	5,4a
IPR50 x ST07	10,4a	9,9b	72,9c	282c	0,59b	0,6b	5,1b	4,60b	11,6c	64,1d	252c	0,62b	19,4a	3,9b
MC34 x ST08	9,34a	16,6a	70,5d	249d	0,57c	0,0b	6,4b	3,81c	31,0a	62,9e	246c	0,60b	16,7b	9,1a
MC45 x ST08	9,97a	5,5b	74,1b	288c	0,59b	2,5b	5,9b	4,09c	20,4b	64,4c	254c	0,64a	23,7a	7,0a
MC47 x ST08	9,21a	13,3a	73,4c	277c	0,61b	1,9b	14,1a	4,13c	20,0b	65,3c	246c	0,62b	26,1a	6,7a
MC51 x ST08	8,89a	10,3b	75,6b	268d	0,60b	2,2b	8,0a	3,57c	25,5a	64,6c	254c	0,62b	32,6a	7,1a
IPR50 x ST08	8,43b	15,2a	74,6b	262d	0,57c	3,1b	9,5a	4,88b	21,1b	62,9e	261b	0,61b	22,4a	1,9b
MC34 x ST09	9,21a	11,5a	70,1d	258d	0,59b	1,2b	5,6b	4,70b	13,6c	62,4e	241c	0,58c	17,9b	6,0a
MC45 x ST09	9,15a	13,0a	73,8b	269d	0,58c	1,9b	8,5a	4,78b	11,9c	64,2d	255c	0,63a	12,9b	1,9b
MC47 x ST09	10,2a	8,4b	72,1c	274c	0,59b	3,2b	7,2a	4,69b	12,8c	63,4d	255c	0,62b	10,2b	5,1a
MC51 x ST09	8,45b	9,2b	74,8b	255d	0,55c	0,0b	2,7b	4,77b	9,2c	64,7c	259b	0,60b	17,7b	1,3b
IPR50 x ST09	8,99a	4,3b	72,3c	263d	0,59b	1,2b	6,7b	4,97b	27,5a	63,2d	255c	0,61b	10,6b	4,4b
MC34 x ST10	6,74c	11,4a	72,0c	251d	0,57c	2,6b	5,0b	4,06c	20,2b	61,4f	245c	0,60b	6,6b	6,9a
MC45 x ST10	9,60a	8,5b	72,8c	279c	0,61b	0,0b	5,7b	3,88c	18,3b	65,3c	259b	0,62b	20,1a	7,7a
MC47 x ST10	6,82c	20,1a	76,5a	258d	0,60b	11,8a	3,8b	4,09c	19,5b	64,3d	252c	0,61b	22,7a	4,4b
MC51 x ST10	7,96b	8,1b	74,3b	258d	0,58c	7,3a	6,5b	3,71c	20,8b	64,1d	248c	0,62b	18,4b	10,3a
IPR50 x ST10	7,81b	15,1a	74,5b	259d	0,56c	1,5b	1,9b	4,28b	17,7b	63,4d	247c	0,62b	17,8b	6,3a
MC34 x ST11	8,14b	14,9a	74,2b	257d	0,54c	2,0b	0,0b	4,70b	11,3c	63,6d	259b	0,58c	8,3b	3,2b
MC45 x ST11	8,14b	14,4a	77,1a	291c	0,60b	5,4a	5,7b	4,07c	20,5b	65,8c	260b	0,62b	25,7a	2,7b
MC47 x ST11	8,78a	7,2b	76,5a	291c	0,58c	2,7b	5,7b	4,01c	6,6c	65,6c	256c	0,61b	14,6b	7,1a
MC51 x ST11	9,03a	19,1a	77,3a	289c	0,57c	8,1a	8,7a	4,23b	14,4c	65,5c	252c	0,61b	42,5a	5,8a
IPR50 x ST11	8,32b	13,7a	76,4a	279c	0,59b	0,6b	3,9b	4,62b	11,3c	65,4c	251c	0,61b	19,5a	1,9b
MC34	6,72c	24,0a	72,8c	272d	0,57c	8,7a	18,3a	2,81d	24,5a	64,6c	259b	0,61b	32,1a	14,1a
MC45	7,94b	16,1a	78,4a	335a	0,64a	8,1a	4,3b	2,72d	15,3c	68,5a	278a	0,65a	35,6a	7,4a
MC47	5,66c	22,6a	78,6a	321b	0,63a	11,2a	12,7a	2,07d	16,3c	68,6a	270a	0,65a	42,7a	5,3a
MC51	6,55c	31,6a	77,3a	335a	0,66a	12,3a	11,3a	2,19d	19,0b	68,7a	282a	0,66a	43,8a	11,1a
IPR50	8,82a	15,6a	76,9a	310b	0,62a	7,6a	6,3b	3,37c	10,2c	67,2b	280a	0,64a	24,1a	2,6b
AGN3150	8,13b	5,2b	70,6d	203f	0,58c	0,8b	4,0b	5,24b	19,8b	58,8g	212e	0,56d	7,0b	5,2a
DKB747	9,09a	5,4b	70,9d	235e	0,54c	0,7b	0,7b	5,13b	17,3c	60,8f	223d	0,52e	12,4b	2,5b
DOW8420	9,96a	3,5b	69,3d	216f	0,56c	0,0b	2,0b	6,36a	10,5c	58,5g	211e	0,56d	1,9b	0,6b
AS3466TOP	8,86a	7,8b	69,7d	215f	0,55c	0,0b	0,7b	5,01b	18,4b	59,4g	210e	0,58c	3,2b	1,9b
DKB333B	7,17c	17,1a	76,4a	240e	0,55c	0,0b	0,0b	5,89a	7,1c	63,9d	232d	0,57c	11,7b	1,3b
Média Cruz.	8,94	11,0	73,1	269	0,58	2,7	6,5	4,21	17,5	63,6	253	0,61	19,3	5,9
Média MC	7,14	22,0	76,8	315	0,62	9,6	10,6	2,63	17,0	67,5	274	0,64	35,7	8,1
Média Test.	8,64	7,8	71,4	222	0,55	0,3	1,5	5,53	14,6	60,3	218	0,56	7,2	2,3
Média geral	8,78	11,6	73,3	269	0,58	3,0	6,4	4,19	17,3	63,7	252	0,61	19,6	5,8

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

produtivos, altura da planta e relação da altura da espiga, precocidade e percentagem de acamamento e quebramento. Em São João do Triunfo, houve redução da percentagem de espigas danificadas; as combinações híbridas tiveram apenas metade da percentagem apresentada pelas variedades, apesar de as variedades locais se caracterizarem por um melhor empalhamento da espiga. Resultados favoráveis do cruzamento de variedades locais com genótipos melhorados, quanto à produtividade e demais caracteres da planta, também foram observados por Pérez-Velásquez et al. (1995), Calderón et al. (1999), e Cruz-Larios et al. (2003), que avaliaram o potencial per se e em cruzamentos das variedades locais, para obtenção de novas populações para uso no melhoramento genético.

Em comparação com as três melhores testemunhas de cada local, 69,1 e 49,1% das combinações híbridas em São João do Triunfo e Londrina, respectivamente, não diferiram significativamente quanto à produtividade, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Entre essas, se destacaram com maior produtividade e bom desempenho, para as demais características avaliadas, em ambos os locais, as combinações híbridas: MC34 x ST04, IPR50 x ST07, MC47 x ST09, MC45 x ST02, MC51 x ST04 e MC45 x ST01, com médias que variaram de 10,4 a 9,1 Mg ha⁻¹ e de 5,4 a 4,6 Mg ha⁻¹ em São João do Triunfo e Londrina, respectivamente.

Os efeitos de capacidade geral de combinação para o grupo das sintéticas (CGC-ST) e das variedades (CGC-VAR) foram significativos para quase todos os caracteres, exceto para produtividade, em que a CGC-VAR foi não significativa (Tabela 2). Houve interações significativas de CGC-ST x local e CGC-VAR x local quanto às variáveis: produtividade, percentagem de espigas danificadas, dias para o florescimento e posição da espiga na planta; isso indica diferentes capacidades combinatórias dos genótipos nos locais. Contudo, a seleção pode ser realizada entre as combinações híbridas, com as melhores capacidades de combinação geral em ambos os locais, que resultem em melhor desempenho para o conjunto das características estudadas.

Quanto à capacidade específica de combinação (CEC), apenas foram observados efeitos significativos para percentagem de espigas danificadas e de interação CEC x local para florescimento e percentagem de espigas danificadas (Tabela 2). Os efeitos significativos de CEC

indicaram que determinadas combinações híbridas, em determinado local, apresentaram incremento ou decréscimo da percentagem de espigas danificadas e de dias para o florescimento, o que não pode ser explicado pela média dos pais e suas capacidades gerais de combinação. Efeitos não significativos de CEC para produtividade, em estudos com variedades, foram observados por Hallauer & Miranda Filho (1995), Gorgulho & Miranda Filho (2001), e Morello et al. (2002), e mostraram que, em populações com ampla base genética, os efeitos de CGC são mais importantes. As estimativas de capacidade geral de combinação estão associadas à maior frequência de alelos favoráveis na população e ao potencial desta para a produção de compostos de variedades (Miranda Filho & Chaves, 1991); a capacidade geral de combinação contém os efeitos de variedades e de heterose de variedades. Entretanto, alguns autores também observaram efeitos significativos de CEC para produtividade (Santos et al., 1994; Pérez-Velásquez et al., 1995; Vacaro et al., 2002).

A variedade sintética ST02 apresentou a maior estimativa de capacidade geral de combinação (g_i) para produtividade (0,85 Mg ha⁻¹), em Londrina, e ST07, a maior estimativa de g_i para produtividade (0,85 Mg ha⁻¹), em São João do Triunfo (Tabela 4). Contudo, ST02 apresentou estimativas de g_i que contribuíram favoravelmente para a maioria das características nos dois locais, enquanto ST07 promoveu incremento de 5,5 cm na altura média das combinações híbridas avaliadas em São João do Triunfo, e 7% na percentagem de acamamento em Londrina. Entre as sintéticas, no experimento realizado em Londrina, apenas em ST09 e ST04 foram obtidas estimativas de g_i positivas para produtividade que figurassem entre as maiores estimativas para essa característica. A variedade sintética ST09 apresentou estimativas favoráveis nos dois locais, para as demais características. As estimativas de g_i estão associadas à frequência de alelos favoráveis para características de interesse agrônomo (Vencovsky & Barriga, 1992), sendo que as estimativas positivas refletem a contribuição do genótipo para o aumento e as negativas para a redução do caráter.

As melhores estimativas de g_i para produtividade, no grupo das variedades, foram observadas para MC45, em São João do Triunfo, e para IAPAR 50, em Londrina. As estimativas de g_i, para as demais características, indicam que MC45 contribuiu favoravelmente para a

Tabela 4. Estimativas de capacidade geral de combinação (g_i) dos genitores das combinações híbridas do dialelo, para produtividade (PGC), percentagem de espigas danificadas (ED), dias para o florescimento (FLO), altura de planta (AP), posição relativa da espiga (PRE), percentagem de plantas acamadas (AC) e quebradas (QU), em São João do Triunfo e Londrina, PR.

Genitor	São João do Triunfo							Londrina						
	PGC	ED	FLO	AP	PRE	AC	QU	PGC	ED	FLO	AP	PRE	AC	QU
Grupo ST – Variedades sintéticas														
ST01	-0,05	-2,6	-1,2	-7,7	-0,01	-0,2	1,6	0,24	3,7	-1,0	-7,5	-0,03	5,0	3,1
ST02	-0,23	-1,5	-1,3	-9,7	0,01	-0,7	2,7	0,85	-3,0	-1,3	0,9	0,01	-4,0	0,1
ST03	0,18	2,2	-1,2	14,4	-0,01	1,4	0,9	-1,02	6,6	-0,2	9,0	-0,02	-2,9	0,7
ST04	0,33	1,8	0,4	0,2	-0,01	-0,6	-0,9	0,47	-3,7	-0,1	2,1	-0,01	-3,0	2,1
ST05	-0,22	-1,0	0,3	-2,0	-0,01	-0,9	0,4	0,28	-4,2	0,2	0,7	0,01	-3,3	-1,1
ST06	0,26	-1,3	-0,5	0,3	0,00	-0,2	-1,8	-0,82	-0,1	0,1	-0,1	0,00	1,2	-1,4
ST07	0,85	-1,8	-0,3	5,5	0,02	0,2	-1,0	-0,35	-0,1	0,5	-2,8	0,02	7,0	-1,1
ST08	0,23	1,2	0,5	-0,4	0,01	-0,8	2,3	-0,12	6,1	0,4	-1,2	0,01	5,0	0,4
ST09	0,27	-1,7	-0,5	-5,2	0,00	-1,2	-0,4	0,57	-2,5	-0,1	-0,3	0,00	-5,5	-2,2
ST10	-1,15	1,7	0,9	-7,8	0,00	1,9	-1,9	-0,21	1,8	0,1	-3,2	0,01	-2,2	1,2
ST11	-0,45	2,9	3,1	12,3	-0,01	1,0	-1,7	0,11	-4,7	1,5	2,4	0,00	2,8	-1,8
DP(g_i) ⁽¹⁾	0,282	1,27	0,41	3,13	0,005	0,88	1,11	0,137	1,47	0,18	2,34	0,004	3,08	0,91
DP($g_i - g_j$) ⁽²⁾	0,418	1,89	0,60	4,65	0,008	1,30	1,64	0,203	2,18	0,26	3,46	0,006	4,57	1,35
Grupo VAR – Variedades locais (MC) e do IAPAR (IPR)														
MC34	-0,03	-0,7	-2,5	-13,3	-0,01	-1,0	-1,4	-0,08	3,3	-1,6	-8,3	-0,02	-4,0	0,0
MC45	0,33	-0,5	0,6	8,3	0,01	-0,1	-0,7	0,02	-3,2	0,7	6,8	0,01	0,6	-0,4
MC47	0,03	0,2	0,6	3,7	0,01	1,2	1,3	-0,23	-1,4	0,6	-2,0	0,00	0,5	1,2
MC51	-0,05	0,7	1,0	1,3	0,00	1,4	1,2	-0,25	1,7	0,7	1,6	0,00	8,8	1,2
IPR50	-0,27	0,3	0,2	0,1	-0,01	-1,5	-0,4	0,54	-0,5	-0,4	1,9	0,00	-5,8	-2,0
DP(g_i)	0,178	0,81	0,26	1,98	0,003	0,55	0,70	0,087	0,93	0,11	1,48	0,003	1,95	0,58
DP($g_i - g_j$)	0,282	1,27	0,41	3,13	0,005	0,88	1,11	0,137	1,47	0,18	2,34	0,004	3,08	0,91

⁽¹⁾Desvio-padrão das estimativas de capacidade geral de combinação. ⁽²⁾Desvio-padrão do contraste entre efeitos de capacidades gerais de combinação.

redução das percentagens de espigas danificadas e de plantas quebradas, nos dois locais, além de contribuir para o aumento da altura das plantas, da posição da espiga e do número de dias para o florescimento. A IAPAR 50 apresentou estimativas de g_i negativas para percentagem de acamamento e quebraamento; esse genótipo, dentro do grupo das variedades, foi o que mais contribuiu favoravelmente para essas características.

Conclusões

1. Existem combinações híbridas com potencial para síntese de novas variedades, com padrões de produtividade, altura de planta, posição relativa da espiga, percentagem de espigas danificadas e de plantas acamadas e quebradas melhores que os observados em variedades locais per se e semelhantes aos observados nos híbridos comerciais.

2. As melhores combinações híbridas são MC34 x ST04, IAPAR 50 x ST07, MC47 x ST09, MC45 x ST02, MC51 x ST04 e MC45 x ST01.

Agradecimentos

Aos agricultores familiares e à Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, pelo fornecimento das sementes locais e participação na condução dos experimentos. Ao Programa de Mestrado em Genética e Biologia Molecular, da Universidade Estadual de Londrina (UEL), e à Fazenda Escola da UEL, pelo apoio à realização do trabalho.

Referências

- ARAÚJO, P.M. de; NASS, L.L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. *Scientia Agricola*, v.59, p.589-593, 2002.
- BISOGNIN, D.A.; CIPRANDI, O.; COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F. Potencial de variedades de polinização aberta de milho em condições adversas de ambiente. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.3, p.29-34, 1997.
- CALDERÓN, A.E.; ROBLEDO, M.T.; NARANJO, A.T. Variedades mejoradas no convencionales de maíz para agrosistemas de mediana productividad. *Agricultura Técnica en México*, v.25, p.83-87, 1999.

- COIMBRA, J.L.M.; CARVALHO, F.I.F.; CIPRANDI, O. Potencial rendimento de grãos de genótipos de milho com diferentes graus de heterose. **Revista Científica Rural**, v.4, p.83-90, 1999.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.
- CRUZ-LARIOS, L. de la; PARRA, J.R.; RAMÍREZ-DÍAZ, J.L.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, J.J.; MORALES-RIVERA, M.M.; CHUELA-BONAPARTE, M.; HURTADO DE LA PEÑA, S.A.; MENA-MUNGUÍA, S. Heterosis and combining ability among commercial hybrids and exotic maize germplasm in Jalisco, Mexico. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v.26, p.1-10, 2003.
- FERREIRA, J.M.; MOREIRA, R.M.P.; HIDALGO, J.A.F. Capacidade combinatória e heterose em populações de milho crioulo. **Ciência Rural**, v.39, p.332-339, 2009.
- FIDELIS, R.R.; MIRANDA, G.V.; SANTOS, I.C. dos; GALVÃO, J.C.C.; PELUZIO, J.M.; LIMA, S. de O. Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.147-153, 2007.
- 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, B.A. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, p.463-493, 1956.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University, 1995. 468p.
- MACHADO, A.T.; MACHADO, C.T. de T.; FURLANI, P.R. Avaliação e caracterização de variedades locais de milho para condições adversas de ambiente. In: SOARES, A.C.; MACHADO, A.T.; SILVA, B. de M.; WEID, J.M. von der (Org.). **Milho crioulo: conservação e uso da biodiversidade**. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1998. p.151-178.
- MACHADO, C.T. de T.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; MACHADO, A.T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. **Bragantia**, v.58, p.109-124, 1999.
- MIRANDA FILHO, J.B. de; CHAVES, L.J. Procedures for selecting composites based on prediction methods. **Theoretical and Applied Genetics**, v.81, p.265-271, 1991.
- MIRANDA FILHO, J.B. de; VENCOSKY, R. Analysis of variance with interaction of effects. **Brazilian Journal of Genetics**, v.18, p.129-134, 1995.
- MORELLO, C. de L.; MIRANDA FILHO, J.B. de; FERREIRA, J.M. Heterosis and combining ability among varieties of maize in acid soil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.32, p.89-95, 2002.
- PACHECO, C.A.P.; CRUZ, C.D.; SANTOS, M.X. dos. Association between Griffing's diallel and adaptability and stability of Eberhart and Russel. **Genetics and Molecular Biology**, v.22, p.451-456, 1999.
- PATERNIANI, E.; NASS, L.L.; SANTOS, M.X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C.V.; DUARTE, W. (Org.). **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p.11-14.
- PÉREZ-VELÁSQUEZ, J.C.; CEBALLOS, H.; PANDEY, S.; DÍAZ-AMARIS, C. Analysis of diallel crosses among Colombian landraces and improved populations of maize. **Crop Science**, v.35, p.572-578, 1995.
- SANDRI, C.A.; TOFANELLI, M.B.D. Milho crioulo: uma alternativa para rentabilidade no campo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, p.59-61, 2008.
- SANTOS, M.X. dos; PACHECO, C.A.P.; GUIMARÃES, P.E.O.; GAMA, E.E.G. e; SILVA, A.E. da; OLIVEIRA, A.C. de. Diallel among twenty eight varieties of maize. **Brazilian Journal of Genetics**, v.17, p.277-282, 1994.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974.
- SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research**. New York: W. H. Freeman, 1997. 887p.
- SPANER, D.; BRATHWAITE, R.A.I.; MATHER, D.E. Comparison of open-pollinated stress-tolerant and landrace maize for production under stress conditions in Trinidad. **Maydica**, v.40, p.331-337, 1995.
- VACARO, E.; BARBOSA NETO, J.F.; PEGORARO, D.G.; NUSS, C.N.; CONCEIÇÃO, L.D.H. Combining ability of twelve maize populations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.67-72, 2002.
- VENCOSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

Recebido em 24 de março de 2009 e aprovado em 9 de agosto de 2009