

COMPARAÇÃO DE TESTADORES EM FAMÍLIAS S₂ OBTIDAS DO HÍBRIDO SIMPLES DE MILHO-PIPOCA IAC-112

COMPARISON OF TESTERS IN S₂ FAMILIES OBTAINED FROM THE POPCORN SINGLE HYBRID 'IAC-112'

Marcos de Araújo RODOVALHO¹; Carlos Alberto SCAPIM²; Ronald José Barth PINTO²; Rafael Reccanello BARRETO¹; Fernando Rafael Alves FERREIRA¹; Luiz Rafael CLÓVIS¹

1. Mestrandos, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, PR Brasil. marcos_rodvalho@yahoo.com.br; 2. Professores, Doutores, Departamento de Agronomia - UEM, Maringá, PR Brasil. cascapim@uem.br

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar três testadores (o híbrido simples modificado IAC-112, a variedade BRS-Angela e a linhagem L.8.2, extraída de um material genético norte americano), para discriminar 64 famílias S₂ derivadas do híbrido simples de milho-pipoca IAC-112. As famílias foram avaliadas por seu desempenho *per se* e em cruzamentos com os testadores. As características avaliadas foram rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE). Foram obtidas estimativas das capacidades geral e específica de combinação, heterose dos *topcrosses* e a discriminação de cada testador por meio do índice de diferenciação proposto por FASOULAS (1983). Com base nesses parâmetros, o melhor testador para as famílias S₂ foi a linhagem L8.2, tanto para RG quanto para CE

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L.. *Topcross*. Rendimento. Capacidade de expansão.

INTRODUÇÃO

Diferentes técnicas e delineamentos genéticos podem ser aplicados ao melhoramento de milho, incluindo cruzamentos dialélicos, que constituem uma metodologia para a seleção de genótipos com elevada capacidade de combinação e complementaridade alélica. Como programas de melhoramento incluem elevado número de genótipos, dialelos parciais e os *topcrosses* têm sido preferidos, na avaliação de conjuntos específicos de cruzamentos.

O uso de *topcrosses* na avaliação de elevado número de famílias não é recente (DAVIS, 1927; LINDSTRON, 1931; JENKINS ; BRUNSON, 1932). O método consiste em cruzar todas as famílias com um ou mais testadores, avaliando-os experimentalmente, por seu mérito genético próprio, haja vista que foram cruzadas com um parental comum. Dessa forma, é possível selecionar as famílias mais promissoras, avançando apenas aquelas de interesse para o programa.

Existem algumas dúvidas no uso do esquema *topcross* em relação à escolha do testador, pois um determinado material pode ser bom testador em uma circunstância mas não em outra (HALLAUER ; MIRANDA FILHO, 1995). Algumas considerações quanto a escolha do testador, tais como a base genética ampla vs. estreita podem ser observadas nos trabalhos de Lonquist ; Roumbough (1958), Rawlings ; Thompson (1962), Horner et al., (1973) e Zambezi ; Horner (1986).

Pode-se destacar que a escolha do testador está relacionado com o estágio de desenvolvimento do programa (início vs. antigo), em gerações de autofecundações precoces vs tardias como relatados nos artigos de Hallauer ; Lopez-Perez (1979), Bernardo (1991) e Lile; Hallauer (1994). De acordo com Hallauer e Lopez-Perez (1979) a escolha dos testadores também deverá levar em consideração o tipo de material em teste (grupos definidos vs. grupos misturados ou miscelânea) e tipos de híbridos de interesse (híbridos simples, duplo e/ou triplo), o grau de parentesco com o material a ser avaliado (aparentado vs. não aparentado) e produção (alta produção vs. baixa produção).

As pesquisas sobre a definição de testadores, em milho-pipoca, não encontram-se tão avançadas quanto às direcionadas ao milho comum, com poucos artigos publicados (PINTO et al., 2004; VIANA et al., 2007; SCAPIM et al., 2008; ARNHOLD et al., 2009). Em dois relatos os autores discutiram a utilização de testadores de base estreita vs base ampla com resultados divergentes em relação ao testador mais adequado, o que indica a necessidade de mais pesquisas no assunto em milho-pipoca (PINTO et al., 2004 e SCAPIM et al., 2008). Acrescenta-se que a característica de capacidade de expansão deve ser avaliada juntamente com o rendimento de grãos, o que pode dificultar um pouco a escolha do testador mais adequado. Os mecanismos de herança das duas características são bem diferentes, enquanto, capacidade de expansão é condicionada por um pequeno número de genes

(BABU et al., 2007) e predomina a ação gênica aditiva (LARISH; BREWBAKER, 1999), a característica rendimento de grãos é governada por um grande número de genes com predominância de efeitos gênicos não-aditivos.

Apesar de toda a teoria envolvida no assunto, parece que as indicações de Hallauer (1975) devem ser observadas e seguidas com muita atenção: A escolha do testador deve oferecer simplicidade no uso, gerar informações que classifiquem corretamente o potencial relativo das linhagens em cruzamento e maximizar o ganho genético. Atualmente, a maior parte dos testadores utilizados é constituída por linhagens elites de grupos heteróticos distintos das famílias que estão em avaliação ou, em casos específicos, um híbrido simples parental na obtenção de híbridos triplos. Claro, testadores de base genética estreita (linhagens e híbridos simples) testam a capacidade específica de combinação (HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1995). Em uma análise superficial parece que diante desses fatos o assunto sobre testadores está definido. No entanto, é uma visão de programa de melhoramento com décadas de pesquisa, com linhagens elites e híbridos de mercado que faz muito sucesso. Para determinadas culturas em que os pesquisadores estão começando os trabalhos de melhoramento e toda a teoria envolvida no assunto de testadores com base ampla permite afirmar que a utilização desses materiais genéticos deve ser considerada. É amplamente conhecido que testadores com base genética ampla (sintéticos e variedades de polinização aberta) testam para capacidade geral de combinação ou aditividade, o que é muito importante no melhoramento em sua fase inicial.

Este trabalho teve como objetivo avaliar e comparar três testadores na avaliação de 64 famílias S_2 , obtidas do híbrido simples IAC-112 de milho-pipoca.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 64 famílias S_2 de milho-pipoca proveniente do híbrido simples IAC-112 do Instituto Agrônomo de Campinas (SAWAZAKI, 1995). Os testadores utilizados foram: BRS-Angela (variedade de polinização aberta), IAC 112 (híbrido simples modificado) e a linhagem L8.2-UEM (geração S_8). A linhagem L8.2-UEM foi obtida por autopolinização de um híbrido americano de alta capacidade de expansão de origem desconhecida.

Os híbridos *topcrosses* de milho-pipoca foram obtidos na Universidade Estadual de Maringá, PR, em 2005/2006. A avaliação foi

realizada na Fazenda Experimental de Iguatemi-PR (latitude de 23°25'S e longitude de 51°57'W), em 2007/2008. As hibridações foram desenvolvidas em duas etapas, conforme sugerido por Elias et al. (2000). A primeira foi constituída por dialelo parcial entre os três testadores e cada uma das 64 famílias S_2 . No plantio foi utilizada a proporção de três fileiras femininas para uma masculina, semeadas de forma intercalar. As 64 famílias S_2 foram sistematicamente dispostas como fêmeas, sendo portanto receptoras de pólen oriundo dos testadores. A segunda etapa consistiu na avaliação dos híbridos *topcrosses* e das famílias S_2 *per se*. Para os híbridos *topcrosses* foram instalados três látices simples 8 x 8. Incluíram-se os três testadores em cada sub-bloco do látice. Cada parcela experimental foi constituída por uma linha de 5 m, com 0,90m entre linhas e 5 plantas por metro. Na avaliação experimental das famílias S_2 foram adotados os mesmos procedimentos sem a inclusão dos testadores.

As características avaliadas foram rendimento de grãos e capacidade de expansão. Em relação à capacidade de expansão, para cada parcela, tomaram-se duas amostras de 30g de grãos, com umidade variando de 13 a 14%. Foi utilizada uma pipoqueira elétrica com controle de temperatura, desenvolvida pelo Centro Nacional de Instrumentação Agrícola (Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP). Cada amostra foi submetida a uma temperatura constante de 280 °C, sem óleo, por 2 minutos. A capacidade de expansão foi expressa pela razão entre o volume da pipoca expandida, medido em uma proveta graduada de 2000 mL, e a massa de grãos crus. O rendimento de grãos foi transformado para kg ha^{-1} e corrigido para a umidade a 14,0%.

A análise estatística dos dados seguiu o modelo linear para experimentos em látice quadrado. Os quadrados médios de tratamento ajustado e de resíduo, denominado erro efetivo, foram utilizados para o teste F. Quando necessário, as médias obtidas foram ajustadas, levando-se em consideração a recuperação da informação interblocos. O efeito dos tratamentos foi considerado aleatório. A análise do dialelo parcial foi realizada pelas médias dos tratamentos ajustados, utilizando o modelo de Griffing (1956), adaptado por Geraldi; Miranda Filho (1988). O grau de coincidência das classificações das famílias S_2 , em função do testador utilizado, foi verificado por correlação classificatória de Spearman. A eficiência dos testadores foi, inicialmente, avaliada pelo índice de diferenciação (D) proposto por Fasoulas (1983), baseado no teste de médias de Duncan. As análises

foram efetuadas usando o programa GENES (CRUZ, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadrados médios para *topcrosses* (tratamentos) para os três testadores e as famílias *per se* revelaram significativos ($p < 0,05$), o que indica variabilidade genética para rendimento de grãos e capacidade de expansão.

Em relação as estimativas de parâmetros genéticos dos *topcrosses* para rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE), verificaram-se que as maiores variâncias genéticas ocorreram com o cruzamento L8.2 x S₂ com as estimativas de (633818.435 (kg ha⁻¹)²) para RG e (14.125 (mL g⁻¹)²) para CE. Isso é explicado em razão de serem grupos contrastantes.

As capacidades geral e específica de combinação das famílias S₂ e dos testadores para as duas características apresentaram significância estatística ($p < 0.05$). Isso revela a existência de diferenças entre os valores das estimativas de capacidade geral (\hat{g}_i) das famílias avaliadas e dos testadores empregados, bem como das estimativas de capacidade específica (\hat{s}_{ij}) de combinação entre as famílias e os testadores.

Em ordem decrescente de classificação, as famílias 11, 39, 57, 63, 19, 17, 46, 62, 34 e 18 apresentaram maior capacidade geral de combinação (CGC) para rendimento de grãos. Paralelamente, as famílias 34, 9, 25, 11, 16, 51, 15, 23, 13 e 43 destacaram-se por seus valores de \hat{g}_i para capacidade de expansão. As famílias 11 e 34 foram as únicas que obtiveram valores apreciáveis de CGC tanto para RG e CE e deverão ser avaliadas com mais atenção no programa de melhoramento de milho-pipoca.

Com relação à CGC para testadores em linhagens S₂, a maior estimativa para rendimento de grãos foi obtida por Angela (1309,33), seguido por L8.2, que apresentou valor intermediário (40,11). O testador IAC-112 apresentou valor negativo para CGC (-1076,03). O elevado valor positivo de CGC para rendimento de grãos para o testador Angela pode ser explicado pela “qualidade favorável” dos gametas ou maior frequência de alelos favoráveis resultante dos vários ciclos de seleção a que foi submetida (PACHECO et al., 2001). Ademais, esse testador tem base genética ampla e não está correlacionado com as linhagens S₂. No que diz respeito ao testador IAC-112, o valor negativo pode ser consequência de sua base estreita e correlação

genética com as famílias S₂, dele extraídas. Assim, os *topcrosses* envolvendo IAC-112 poderiam ser interpretados como cruzamentos intrapopulacionais. Quanto à CGC de L8.2, o valor parece coerente com sua base genética estreita e alto grau de homozigose não correlacionada com as linhagens S₂, com possíveis efeitos de complementaridade com tais famílias.

Ainda em relação a CGC para CE verificou-se que a maior estimativa foi para o testador IAC-112 (4.30), seguido do testador L8.2 (2.51), enquanto Angela obteve valor negativo (-6.80). Nota-se, portanto, que apenas com o testador L8.2 (linhagem homozigota) foi possível obter estimativas positivas da CGC para RG e CE, o que a credencia como o testador mais adequado.

As estimativas de CEC para rendimento de grãos estão apresentadas no Tabela 1. Os cruzamentos das famílias 39, 46, 62 e 63 com o testador Angela, destacaram-se com elevados valores de CEC e CGC das respectivas famílias S₂, enquanto para o testador IAC-112, apenas o seu cruzamento com a família 46 (alta CGC) obteve valor elevado na capacidade específica de combinação, além do híbrido apresentar o melhor rendimento de grãos (2.690 kg ha⁻¹). Em relação ao testador L8.2, o cruzamento com a família 11 foi o único com desempenho superior em CEC que tenha merecido destaque e, também, pela CGC da respectiva família. Para a família 11 observou-se alta CEC com o testador Angela para capacidade de expansão, com uma estimativa média de CE de 36 mL g⁻¹, além da alta CGC da respectiva família (Tabela 2).

Ainda com respeito à qualidade da pipoca, não foi possível identificar cruzamento superior para CEC envolvendo famílias S₂ com o testador IAC-112 e que envolvesse pelo menos uma S₂ com alta CGC (Tabela 2). Este resultado é coerente com a origem genética das famílias aqui estudadas e com o padrão de herança da capacidade de expansão que é predominantemente aditivo (DOFING et al., 1991 E LARISH ; BREWBAKER, 1996), considerando ainda os diferentes mecanismos de ação gênica (aditivos e não aditivos) que determinam a CGC e a CEC. Entre os cruzamentos superiores em CEC que envolveram as S₂ com o testador L8.2, apenas as famílias 13 e 51 obtiveram valores elevados de CGC, além de uma expansão excelente de 41 mL g⁻¹ para ambas.

O maior índice (D%) de diferenciação de Fasoulas (1983) para rendimento de grãos foi alcançado pelo testador L8.2. Esse testador, como já destacado, foi o que apresentou maior CGC para o rendimento. Sua superioridade indica que L8.2 foi o

mais eficaz em discriminar as famílias (D=22,52%). O testador Angela obteve o segundo maior valor para o mesmo índice, sendo também notável a sua capacidade de discriminação (D=15,63%). Para

IAC-112 o valor correspondente foi relativamente baixo (D=6,20%), inferindo-se que sua capacidade de discriminação das famílias foi inferior à dos demais testadores.

Tabela 1. Ordenação das famílias pelo rendimento de grãos (Rend, kg ha⁻¹) e estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) para rendimento de grãos. Maringá-PR, safra 2007-2008.

Angela				IAC112				L8.2			
Ordem	S ₂	Rend	\hat{S}_{ij}	Ordem	S ₂	Rend	\hat{S}_{ij}	Ordem	S ₂	Rend	\hat{S}_{ij}
58	1	3236	-1319.84	13	1	2286	115.15	4	1	4218	1204.69
53	2	3516	-1097.90	35	2	1784	-444.25	2	2	4613	1542.14
57	3	3270	-625.60	45	3	1565	54.64	26	3	2924	570.96
60	4	3208	-864.96	40	4	1661	-26.44	14	4	3422	891.41
31	5	4108	-232.38	34	5	1795	-159.47	18	5	3189	391.84
28	6	4230	87.01	56	6	1296	-461.45	25	6	2975	374.45
19	7	4518	358.28	29	7	1913	138.82	51	7	2120	-497.09
62	8	3062	-571.95	6	8	2473	1224.66	59	8	1438	-652.72
64	9	2988	-761.18	58	9	1215	-149.17	20	9	3117	910.36
55	10	3380	-1152.46	36	10	1776	-371.02	3	10	4513	1523.48
46	11	3862	-1177.94	5	11	2487	-167.57	1	11	4843	1345.52
33	12	4077	-408.26	47	12	1536	-563.58	5	12	3914	971.85
41	13	3922	14.09	44	13	1581	57.89	44	13	2293	-71.97
61	14	3071	-562.42	43	14	1583	335.00	43	14	2318	227.43
39	15	3944	-5.51	62	15	1132	-432.39	27	15	2845	437.89
25	16	4442	609.40	31	16	1842	395.37	61	16	1285	-1004.77
8	17	5265	564.31	30	17	1892	-423.89	23	17	3018	-140.41
30	18	4207	-417.03	17	18	2215	-22.96	12	18	3521	439.98
24	19	4448	-288.88	16	19	2215	-136.03	9	19	3619	424.90
16	20	4776	617.58	64	20	387	-1385.14	15	20	3383	767.57
1	21	5776	1214.14	63	21	760	-1416.57	17	21	3222	202.43
14	22	4812	475.42	39	22	1665	-286.87	33	22	2606	-188.55
13	23	4819	624.80	41	23	1650	-158.75	47	23	2186	-466.06
18	24	4686	92.04	23	24	2095	-113.46	21	24	3073	21.43
43	25	3901	-705.47	7	25	2462	240.59	11	25	3529	464.89
49	26	3756	13.03	55	26	1398	41.09	50	26	2146	-54.12
51	27	3633	-818.84	26	27	2009	-57.11	7	27	3785	875.96
48	28	3756	316.01	57	28	1247	192.40	60	28	1389	-508.40
20	29	4510	176.51	59	29	1207	-740.51	16	29	3355	564.00
36	30	3998	-623.82	11	30	2328	91.87	10	30	3611	531.96
9	31	5131	1136.93	60	31	1201	-407.67	56	31	1722	-729.26
52	32	3607	-885.92	15	32	2241	133.26	8	32	3703	752.65
29	33	4216	16.94	19	33	2173	358.48	45	33	2281	-375.42
21	34	4499	-171.17	9	34	2422	137.72	19	34	3161	33.46
35	35	4000	-93.93	4	35	2503	794.97	54	35	1850	-701.05
11	36	4990	462.05	42	36	1638	-503.98	22	36	3027	41.94
38	37	3950	216.28	61	37	1155	-193.12	49	37	2168	-23.16
50	38	3658	-200.09	48	38	1523	50.19	38	38	2466	149.91
4	39	5725	711.84	10	39	2381	-246.66	24	39	3005	-465.19
44	40	3899	117.25	32	40	1811	415.55	57	40	1706	-532.80
59	41	3232	-537.95	53	41	1457	72.82	31	41	2692	465.12
54	42	3435	-654.86	54	42	1454	-250.61	13	42	3453	905.48
34	43	4068	-54.99	28	43	1922	184.58	39	43	2451	-129.58
47	44	3774	-261.06	27	44	1972	322.86	40	44	2430	-61.81

56	45	3281	-566.04	3	45	2533	1071.31	55	45	1799	-505.26
5	46	5544	852.28	1	46	2690	383.93	52	46	1912	-1236.22
2	47	5748	1268.82	24	47	2083	-10.69	58	47	1679	-1258.13
26	48	4417	539.74	2	48	2591	1098.83	62	48	696	-1638.57
22	49	4497	-21.07	8	49	2433	299.50	30	49	2697	-278.44
37	50	3954	96.42	33	50	1801	328.99	53	50	1890	-425.40
17	51	4751	583.85	50	51	1492	-289.29	42	51	2330	-294.56
42	52	3917	-328.51	22	52	2119	258.62	29	52	2773	69.89
15	53	4798	449.74	38	53	1753	-209.57	36	53	2565	-240.16
6	54	5443	1613.20	37	54	1759	314.18	64	54	360	-1927.37
23	55	4480	402.43	46	55	1552	-140.13	46	55	2272	-262.30
32	56	4086	136.35	52	56	1467	-97.15	41	56	2367	-39.19
12	57	4871	-98.63	12	57	2309	-275.19	6	57	3801	373.81
10	58	5006	448.66	14	58	2245	73.39	37	58	2492	-522.06
27	59	4273	168.29	49	59	1510	-209.16	34	59	2603	40.87
45	60	3869	-326.28	18	60	2187	376.97	35	60	2602	-50.70
40	61	3937	617.71	51	61	1471	537.64	63	61	621	-1155.36
7	62	5345	659.07	20	62	2172	-128.65	32	62	2613	-530.43
3	63	5745	912.22	25	63	2039	-408.04	28	63	2786	-504.18
63	64	3030	-737.74	21	64	2167	785.25	48	64	2177	-47.51

Tabela 2. Ordenação das famílias pela capacidade de expansão (CE, mL g⁻¹) e estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}). UEM, Maringá-PR, safra 2007-2008.

Angela				IAC112				L8.2			
Ordem	S ₂	CE	\hat{S}_{ij}	Ordem	S ₂	CE	\hat{S}_{ij}	Ordem	S ₂	CE	\hat{S}_{ij}
30	1	24	0.5284	24	1	36	1.7544	47	1	30	-2.2830
5	2	32	5.4070	17	2	37	-0.5020	46	2	31	-4.9050
3	3	33	6.7026	16	3	37	-0.5470	50	3	30	-6.1560
57	4	19	-5.5210	13	4	37	2.3175	20	4	37	3.2032
53	5	20	-4.4790	2	5	40	4.1763	29	5	34	0.3032
16	6	26	2.1174	32	6	35	-0.0010	43	6	32	-2.1160
55	7	20	-2.0190	18	7	37	4.1875	52	7	29	-2.1690
34	8	23	0.2874	47	8	34	-0.6360	34	8	33	0.3486
4	9	33	3.3203	10	9	38	-2.5930	15	9	38	-0.7280
22	10	26	-0.2490	23	10	36	-0.7920	21	10	36	1.0418
1	11	36	8.4779	44	11	34	-4.8850	31	11	34	-3.5930
50	12	21	-4.5640	15	12	37	0.8056	12	12	38	3.7582
43	13	22	-5.5790	3	13	40	1.4427	3	13	41	4.1365
31	14	24	-2.2060	1	14	40	3.0417	27	14	35	-0.8360
26	15	25	-2.5090	8	15	38	-0.2660	7	15	40	2.7747
17	16	26	-1.2020	7	16	39	0.0755	13	16	38	1.1269
14	17	27	1.2226	46	17	34	-3.5310	16	17	38	2.3086
13	18	27	3.9862	28	18	36	1.2673	55	18	28	-5.2540
18	19	26	0.2869	5	19	39	2.2227	35	19	33	-2.5100
39	20	23	-0.6620	54	20	32	-2.3030	22	20	36	2.9646
58	21	18	-5.6240	26	21	36	1.2273	18	21	37	4.3962
54	22	20	-2.1370	39	22	35	1.6047	41	22	32	0.5320
24	23	25	-1.8880	11	23	37	-0.9810	6	23	40	2.8693
44	24	22	-0.5230	19	24	37	3.5835	54	24	28	-3.0600
6	25	31	3.1188	41	25	34	-4.7520	10	25	39	1.6329
8	26	30	4.6107	38	26	35	-1.9000	39	26	32	-2.7110
21	27	26	1.6864	43	27	34	-1.0000	33	27	33	-0.6870
23	28	26	1.0713	22	28	36	0.8130	40	28	32	-1.8840

56	29	19	-2.8860	20	29	37	4.1734	49	29	30	-1.2880
49	30	21	-0.0120	25	30	36	4.1025	59	30	26	-4.0900
38	31	23	0.0182	33	31	35	1.2931	45	31	31	-1.3110
40	32	23	3.4895	55	32	32	1.8046	64	32	23	-5.2940
7	33	31	3.8877	52	33	33	-5.1590	17	33	37	1.2709
2	34	34	2.9330	12	34	37	-4.4190	1	34	42	1.4854
12	35	28	2.0103	36	35	35	-1.8520	24	35	35	-0.1590
41	36	22	-1.1050	29	36	36	1.2910	36	36	33	-0.1860
42	37	22	-5.4520	4	37	39	1.0965	2	37	41	4.3552
35	38	23	-0.2980	34	38	35	0.6406	38	38	33	-0.3420
52	39	20	-4.3280	6	39	39	3.4412	25	39	35	0.8867
29	40	24	2.5917	30	40	36	2.8960	61	40	25	-5.4880
10	41	29	4.7946	61	41	30	-5.2780	28	41	34	0.4836
15	42	27	1.3332	58	42	31	-5.700	8	42	39	4.3665
19	43	26	-1.0900	21	43	37	-1.6330	9	43	39	2.7222
28	44	24	-0.7550	57	44	32	-4.3800	5	44	40	5.1346
20	45	26	0.2268	48	45	34	-3.2360	14	45	38	3.0095
46	46	21	0.1037	45	46	34	1.5260	51	46	29	-1.6300
32	47	23	1.5173	63	47	29	-3.8950	32	47	34	2.3778
61	48	16	-1.9500	62	48	30	0.5031	53	48	29	1.4466
11	49	29	6.5857	60	49	30	-2.6090	56	49	27	-3.9770
9	50	30	3.5727	40	50	35	-2.9170	23	50	35	-0.6550
25	51	25	-2.237	14	51	37	-1.4120	4	51	41	3.6486
59	52	18	-1.298	50	52	33	3.2890	57	52	26	-1.9910
64	53	15	-3.4200	27	53	36	6.6494	63	53	24	-3.2290
48	54	21	-2.2150	35	54	35	0.7501	30	54	34	1.4651
63	55	16	-1.412	64	55	26	-2.1160	48	55	30	3.5275
45	56	21	2.2314	56	56	32	1.5622	62	56	25	-3.7940
27	57	25	-0.4270	53	57	33	-3.6970	11	57	39	4.1244
37	58	23	-1.1600	51	58	33	-2.0650	19	58	37	3.2255
36	59	23	-0.4160	49	59	33	-1.3320	26	59	35	1.7479
51	60	20	-2.0860	31	60	36	2.0909	42	60	32	-0.0050
47	61	21	0.7884	42	61	34	2.7829	58	61	26	-3.5710
62	62	16	-5.6680	9	62	38	5.2120	44	62	31	0.4561
60	63	16	-5.0330	37	63	35	2.8526	37	63	33	2.1801
33	64	23	3.4985	59	64	31	-0.0860	60	64	26	-3.4130

Os índices de diferenciação obtidos para a capacidade de expansão foram de 17,01%, 15,18% e 13,54% para os testadores Angela, IAC-112 e L8.2, respectivamente. Neste caso, portanto, os valores de D foram bastante próximos, o que indica que os três testadores discriminaram de maneira semelhante a capacidade de expansão das famílias S₂. O índice de diferenciação de Fasoulas (1983) foi aplicado por Elias et al., (2000) e apesar de não ser muito utilizado no exterior, no que diz respeito a discriminação de testadores, acredita-se que seja mais uma ferramenta estatística para ajudar na escolha do melhor testador.

Para rendimento de grãos, os valores de correlação de Spearman para os híbridos *topcrosses* quanto às coincidências foram iguais a -0,08265 para Angela x IAC112, -0,16891 para Angela x L8.2 e -0,32596 para IAC112 x L8.2. Essas

estimativas negativas são baixas o que é possível concluir que a classificação das famílias variou de acordo com o testador analisado e possível inversão de ranqueamento. Os resultados apontam para a necessidade de avaliação de diferentes testadores e são coerentes com a significância da CEC. Tais valores eram esperados na medida em que os testadores não classificaram as famílias nas mesmas posições, ou cada testador manifestou suas características de forma própria, o que considera suas diferentes bases genéticas e a possibilidade de estarem situados em grupos heteróticos distintos. No caso da CE os resultados foram bastante semelhantes.

Para a característica rendimento de grãos, as correlações entre os híbridos *topcrosses* para os três testadores e as linhagens *per se* foram baixas: -0,01168 para Angela, -0,00078 para IAC112 e

0,17202 para L8.2. Os resultados permitem inferir que não existe correlação entre a classificação das famílias e a classificação de seus híbridos. Tais resultados denotam que a avaliação *per se* é pouco eficiente em prover informação quanto ao comportamento das mesmas em combinações híbridas. Portanto, a utilização de *topcrosses* deve ser preferida à avaliação *per se* durante a obtenção de linhagens endogâmicas em milho-pipoca. Para CE os resultados foram quase que idênticos.

No que diz respeito as estimativas de heterose nos *topcrosses* notou-se que os resultados

dos cruzamentos das famílias com o testador Ângela apontaram a presença de heterose para o rendimento de grãos, na maioria dos casos. Das 64 famílias avaliadas, apenas onze cruzamentos registraram valores heteróticos negativos. As famílias 63 e 39 mereceram destaque por seus cruzamentos, com valores de heterose equivalentes a 64,26 e 63,68%, respectivamente. Além disso, se destacaram também quanto à CGC e CEC para o rendimento de grãos (Tabelas 1,2 e 3).

Tabela 3. Ordem classificatória das famílias S₂ com relação aos respectivos valores de capacidade geral de combinação (CGC) e de seus cruzamentos *topcross* com os testadores para o caráter rendimento de grãos (Rend) e capacidade de expansão (CE), Maringá-PR, safra 2007-2008

Rendimento de grãos						Capacidade de expansão						
S ₂	Rend	Angela	IAC112	L 8.2	CGC	S ₂	CE	Angela	IAC112	L 8.2	CGC	CGC
1	2137		13°	4°	17°	2	36	5°	17°			15°
2	1768			2°	12°	3	35	3°	16°			14°
4	1270			14°		4	29		13°	20°		34°
5	1505			18°		5	32		2°			27°
7	1345	19°				6	30	16°				31°
8	730		6°			7	37		18°			51°
9	993			20°		9	37	4°	10°	15°	2°	
10	1982			3°	18°	11	36	1°			4°	
11	1622		5°	1°	1°	12	36		15°	12°		24°
17	1608	8°		5°	6°	13	36		3°	3°	9°	
18	1840		17°	12°	10°	14	33		1°		16°	
19	1734		16°	9°	5°	15	35		8°	7°	7°	
20	1227	16°		15°		16	38	17°	7°	13°	5°	
21	2248	1°		17°	15°	17	35	14°		16°	17°	
22	1146	14°				18	37	13°				39°
23	939	13°				19	39	18°	5°		19°	
24	1362	18°			14°	21	30			18°		35°
25	1198		7°	11°	13°	23	39		11°	6°	8°	
27	1044			7°		24	39		19°			46°
29	1772	20°		16°		25	36	6°		10°	3°	
30	1421		11°	10°	11°	26	35	8°				21°
31	942	9°	15°			29	33		20°			25°
32	2487			8°		33	35	7°		17°	12°	
33	1995		19°			34	37	2°	12°	1°	1°	
34	1741		9°	19°	9°	35	30	12°			20°	
35	2224		4°			37	34		4°	2°	11°	
36	2113	11°			19°	39	35		6°			29°
39	1652	4°	10°		2°	41	33	10°				28°
42	1263			13°		42	34	15°		8°		23°
45	1121		3°			43	35	19°		9°	10°	
46	1788	5°	1°		7°	44	34			5°		26°
47	1195	2°				45	33	20°		14°		22°
48	1485		2°			49	32	11°				49°
49	696		8°		20°	50	37	9°			13°	
51	1376	17°				51	39		14°	4°	6°	
53	879	15°				57	35			11°		25°

54	1364	6°				54°	58	36		19°	33°
57	1868	12°	12°	6°	3°		62	36	9°		53°
58	1272	10°	14°		16°						
60	1581		18°			31°					
62	943	7°	20°		8°						
63	2300	3°			4°						

Observando-se os dados de heterose associados ao testador IAC-112 para o rendimento de grãos, constatou-se que, na esmagadora maioria dos casos (63 diferentes híbridos), a heterose foi negativa. Os resultados apontam para evidente escassez de heterose nos *topcrosses* com o testador IAC-112, justificável por se tratar de materiais geneticamente aparentados. Ainda para rendimento de grãos, foram observados tanto valores positivos como negativos para os *topcrosses* com o testador L8.2. As famílias 11 e 25 merecem destaque porque, além de apresentarem alta CGC, estiveram envolvidas nos cruzamentos mais heteróticos com L8.2, registrando-se rendimentos de 4843 e 3529 kg ha⁻¹, respectivamente. Paralelamente, com valores elevados de CEC, as famílias 2 e 10 participaram de cruzamentos com altos valores de heterose, decorrentes dos rendimentos de 4613 e 4513 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 1).

Foi detectada heterose positiva para capacidade de expansão nos três cruzamentos para os três testadores. Para Angela, 57 famílias apresentaram valores de heterose negativos, e apenas sete (famílias 2, 3, 9, 11, 25, 33 e 34) com valores positivos. Entre elas, 9, 11, 25 e 34 se posicionaram entre as dez melhores quanto à CGC. Ainda para expansão, cruzamentos que envolveram o testador IAC-112 resultaram igualmente na predominância de valores heteróticos negativos. Entre elas, as famílias 13, 15 e 16 apresentaram alta CGC (Tabela 3). Já as famílias 14, 19 e 37 obtiveram valores positivos de CGC (Tabela 3).

O comportamento heterótico dos cruzamentos com L8.2 foi contrário ao verificado nos demais testadores. No caso de L8.2, o número de cruzamentos com heterose positiva foi superior, totalizando 54, com apenas 10 negativas para CEC. Para rendimento, foram 61 valores positivos, sendo de interesse porque trazem uma perspectiva de produção de híbridos satisfatórios, com elevada qualidade genética das sementes. Os resultados parecem decorrer de uma alta CEC dos *topcrosses* das várias famílias com L8.2. Deve ser mencionada também a apreciável CGC do testador em questão e a própria natureza desse testador, uma vez que sua base genética estreita responde pela uniformidade de seus gametas durante os cruzamentos.

O uso das informações contidas na Tabela 3 pode contribuir à escolha do melhor testador para rendimento de grãos. Adotou-se o procedimento de selecionar os 20 melhores desempenhos para cada testador e considerar os valores de CGC e de CEC na tentativa de justificar o êxito de determinados cruzamentos.

Entre os 20 melhores híbridos, o testador Angela classificou cinco famílias com alta CGC e seis famílias com CGC negativa. Isso significa que Angela classificou positivamente tanto famílias inferiores como superiores em rendimento de grãos o que demonstra que a variedade Angela não é indicada como um bom testador para o material em estudo. Em outras palavras, Angela não combina bem para otimizar a produção de híbridos.

O uso de *topcrosses* como apoio à seleção de linhagens parcialmente endogâmicas, como as famílias S₂, deve priorizar a seleção para CGC. Assim, se o objetivo do melhorista for seleção de linhagens com maior CGC, o único requerimento usual é o de que o testador tenha base genética ampla (HALLAUER ; MIRANDA FILHO, 1995). Neste sentido, Angela seria um testador apropriado para rendimento de grãos. Contudo, convém ressaltar que a CGC de uma linhagem não é uma propriedade fixa dessa linhagem, pois depende da composição genética da população com a qual essa linhagem tenha sido inter cruzada. Em princípio, a CGC de um testador não deve ser muito alta, justamente para evitar que famílias com mérito agrônômico inferior sejam incluídas no mesmo grupo das de bom desempenho (RAWLINGS ; THOMPSON, 1962). A indicação de Angela é comprometida por sua baixa discriminação, resultante de sua alta CGC. O testador IAC-112 classificou oito famílias superiores portadoras de alta CGC. Em contrapartida, o testador mostrou deficiência classificatória na medida em que destacou positivamente o rendimento de seis famílias com CGC negativa. Ainda para rendimento de grãos, o testador L8.2 classificou entre as vinte selecionadas um total de seis das dez melhores capacidades gerais de combinação, tendo elegido quatro famílias com CGC negativa (Tabela 3). No total, perfizeram 16 famílias com CGC apreciável para rendimento de grãos.

Os resultados para capacidade de expansão que visam a seleção do melhor testador também estão na Tabela 3. Entre os vinte resultados, a cultivar Angela selecionou seis famílias com alta CGC e duas famílias com CGC negativa, perfazendo um total de 18 famílias com capacidades gerais positivas. Entre as vinte famílias, o testador IAC-112 selecionou seis famílias com alta CGC, mas em contrapartida classificou positivamente quatro famílias com CGC negativa, totalizando 16 famílias com capacidades variáveis de combinação. A linhagem L8.2 classificou entre as vinte melhores um total de oito famílias contendo CGC classificadas entre as dez melhores. Apenas uma família com CGC negativa figurou entre os vinte

melhores, o que perfaz um total de dezenove capacidades gerais positivas. A utilização dos critérios de classificação das famílias quanto ao desempenho e à CGC para rendimento de grãos e capacidade de expansão permitiu concluir que, entre os três testadores avaliados, o mais indicado para o programa de melhoramento foi a linhagem L8.2.

CONCLUSÃO

O testador mais indicado para o programa de melhoramento de milho-pipoca é a linhagem L8.2 para as características rendimento de grãos e capacidade de expansão.

ABSTRACT: This work aimed to analyze three testers (the single hybrid IAC-112, the open pollinated variety BRS-Angela and the S_9 inbred line L.8.2) for the evaluating of 64 S_2 families derived from the single popcorn hybrid IAC-112. The families per se and their respective crosses with testers were evaluated for grain yield (GY) and popping expansion (PE). The general and specific combining ability were estimated according to the partial diallel model, topcross heterosis and the discrimination capacity of each tester through the differentiation index proposed by Fasoulas were also evaluated. The inbred line L.8.2 was the best tester for both grain yield and popping expansion, discriminating reliably the families.

KEY WORDS: *Zea mays* L. Topcross. Yield. Popping expansion.

REFERÊNCIAS

- ARNHOLD, E.; VIANA, J. M. S.; SILVA, R. G. Associação de desempenho entre famílias S_3 e seus híbridos topcross de milho-pipoca. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 396-399, 2009.
- BABU, R.; NAIR, S. K.; RAO, H. S.; VERMA, P.; GAHALAIN, A.; SINGH, I. S.; GUPTA, H. S. Mapping QTLs for popping ability in a popcorn x flint corn cross. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 112, p. 1392-1399, 2006.
- BERNARDO, R. Correlation between testcross performance of lines at early and late selfing generations. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 82, p. 17-21, 1991.
- CRUZ, C. D. **Programa GENES**: aplicativo computacional em Genética e Estatística. Viçosa: UFV, 1997. 442p.
- DAVIS, R. L.; Report of the plant breeder. **Puerto Rico Agricultural Experimental Station Annual Reporter**, Porto Rico, v. 1929, p. 14-15, 1927.
- DOFING, S. M.; D'CROZ-MASON, N.; THOMAS-COMPTON, M. A. Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent crosses. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 715-718, 1991.
- ELIAS, H. T.; CARVALHO, S. P.; ANDRÉ, C. G. M. Comparação de testadores na avaliação de famílias S_2 de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1135-1142, 2000.
- FASOULAS, A.C.; Rating cultivars and trials in applied plant breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 32, n. 3, p. 939-943, 1983.

- GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 419-430, 1988.
- GRIFFING, A. R.; Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal of Biological Science**, Melbourne, v. 9, n. 4, p. 463-493, 1956.
- HALLAUER, A. R. Relation of gene action and type of tester in maize breeding procedures. **Corn and Sorghum Research Conference**, Washington, v. 30, p. 150-165, 1975.
- HALLAUER, A.R., LOPEZ-PEREZ, E. Comparisons among testers for evaluating lines of corn. **Proceeding of Annual Hybrid Corn Industry Research Conference**, Chicago, v.34, p.57-75, 1979.
- HALLAUER, Arnel. R.; MIRANDA FILHO, José B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1995. 468p.
- HORNER, E.S.; LUNDY, H.W.; LUTRYCK, M.C.;CHAPMAN, W.H. Comparisons of three methods of recurrent selection in maize. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 485-489, 1973.
- JENKINS, M. T.; BRUNSON, A. M. Methods of testing inbred lines of corn in crossbreed combinations. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington D. C. v. 24, p. 523-530, 1932.
- LARISH L. B; BREWBAKER J. L, Diallel analyses of temperate and tropical popcorn. **Maydica**, Bergamo, v. 44, p. 279-284, 1999.
- LILE, S.M.; HALLAUER, A. R. Relation between S_2 and later generation testcrosses of two corn populations. **Journal of the Iowa Academy of Science Ames**. Iowa, v. 101, n. 1, p. 19-23, 1994.
- LINDSTRON, E. W.; Prepotency of inbred lines on commercial varieties of maize. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington D. C., v. 23, p. 652-661, 1931.
- LONQUIST, J. H.; RUMBAUGH, M. D. Relative importance of test sequence for general and specific combining in corn breeding. **Agronomy Journal**, Madison, v.50, p.541-544, 1958.
- PACHECO, C. A. P., GAMA, E. E. G.; PARENTONI, S. N.;SANTOS, M. X.; GUIMARÃES, P. E. O. **Variedade de milho pipoca BRS Angela – novo ciclo de seleção**. Sete Lagoas: CNPMS, dez.2004. (Comunicado Técnico, 95).
- PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A.; FERREIRA NETO, A.; PACHECO, C. A. P.; ROYER, M.; PEDRONI, M. V.; SALVADORI, R. K.; SILVA, R. M. Analysis of testers of broad and narrow genetic base for topcrosses in popcorn breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 4, p. 152-162, 2004.
- RAWLINGS J. C; THOMPSON D. L. Performance level as criterion for the choice of maize tester. **Crop Science**, Madison, v. 2, p. 217-220, 1962.
- SAWAZAKI, Eduardo. **Melhoramento de milho-pipoca**. Campinas: IAC, 1995. 21p.
- SCAPIM, C. A.; ROYER, M. R.; PINTO, R. J. B.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PACHECO, C. A. P.; MOTERLE, L. M. Comparison of testers in the evaluation of combining ability of S_2 families in popcorn. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, p. 83-91, 2008.
- VIANA, J. M. S.; CONDÉ, A. B. T.; ALMEIDA, R. V.; SCAPIM, C. A.; VALENTINI, L. Relative importance of *per se* and *topcross* performance in the selection of popcorn S_3 families. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 74-81, 2007.
- ZAMBEZI, B. T.; HORNER, E. S. Inbred line as testers for general combining ability in mayze. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 5, p. 908-910, 1986.