

Comparação de testadores na seleção de famílias S_3 obtidas da variedade UENF-14 de milho-pipoca

Comparison of testers in the selection of S_3 families obtained from the UENF-14 variety of popcorn

Guilherme Ferreira Pena¹, Antonio Teixeira do Amaral Júnior^{1*}, Leandro Simões Azeredo Gonçalves², Marcelo Vivas¹, Rodrigo Moreira Ribeiro¹, Gabrielle Sousa Mafra¹, Adriano dos Santos¹, Carlos Alberto Scapim³

1. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias - Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal - Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil.

2. Universidade Estadual de Londrina - Departamento de Agronomia - Londrina (PR), Brasil.

3. Universidade Estadual de Maringá - PGA Agronomia - Maringá (PR), Brasil.

RESUMO: O uso de *topcross* vem se mostrando uma opção interessante para a cultura do milho; entretanto, para o milho-pipoca, há pouca informação sobre a escolha do testador adequado. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar quatro testadores, sendo duas variedades de polinização aberta (BRS Angela e UENF-14), um híbrido *topcross* (IAC125) e uma linhagem (P_2), visando avaliar a capacidade combinatória de 50 famílias S_3 de milho-pipoca, obtidas a partir da variedade UENF-14. Avaliou-se o rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE). Obtiveram-se as estimativas das capacidades geral e específica de combinação, bem como efetuou-se a discriminação de cada testador por meio de índice de diferenciação. Os testadores BRS Angela (para RG) e IAC 125 (para CE) foram os que se destacaram, quando combinados com as melhores famílias S_3 derivadas da variedade UENF-14, para produção de híbridos de milho-pipoca para as Regiões Norte e Noroeste Fluminense.

Palavras-chave: *Zea mays* var. *everta*, *topcross*, rendimento, capacidade de expansão.

ABSTRACT: The use of *topcross* has proven to be an interesting option for the maize crop; however, for the popcorn, there is little information about the choice of the appropriate tester. In this context, this study aimed to analyze four testers including two open pollinated varieties (BRS Angela and UENF-14), one *topcross* hybrid (IAC125) and a line (P_2), to evaluate the combining ability of 50 S_3 families of popcorn, obtained from the UENF-14 variety. Popcorn families were evaluated for grain yield (GY) and popping expansion (PE). The estimates of general and specific combining abilities were obtained and the discrimination of each tester through differentiation index was carried out. The testers BRS Angela (for GY) and IAC 125 (for PE) were the most adequate, when combined with the best S_3 families derived from UENF-14, for the production of popcorn hybrids for the Northern and Northwestern Fluminense Regions.

Key words: *Zea mays* var. *everta*, *topcross*, yield, popping expansion.

INTRODUÇÃO

Qualquer programa de melhoramento que almeja obter êxito em combinações híbridas deve concentrar seus esforços na etapa de identificação das linhagens superiores e na capacidade destas em transmitir características desejáveis aos híbridos (Hallauer et al. 2010). Nesse contexto, a análise dialélica é considerada uma importante ferramenta estatística para estimativa de parâmetros úteis na seleção

dos genitores (Seifert et al. 2006; Barreto et al. 2012; Souza Neto et al. 2015).

Porém, um fator limitante da análise dialélica é o número de genitores avaliados, normalmente não superior a dez, devido ao volume de trabalho para obtenção dos híbridos. Nesse caso, a técnica de *topcross*, proposta por Davis (1927) e Jenkins e Brunson (1932), vem se mostrando uma opção mais adequada, visando contornar o problema da avaliação impraticável das linhagens

→

*Autor correspondente: amaraljr@pq.cnpq.br

Recebido: 21 Maio 2015 – Aceito: 19 Set. 2015

genitoras em trabalhos com híbridos, envolvendo um grande número de linhagens.

O termo “*topcross*” é utilizado para designar cruzamentos entre linhagens com um testador. Esse testador pode ser uma variedade, um híbrido ou até mesmo uma linhagem, recebendo essa denominação por desempenhar a finalidade de avaliar a capacidade combinatória das linhagens. Os testadores podem ser classificados em relação a sua base genética (ampla *versus* estreita), o grau de parentesco com o material a ser avaliado (aparentado *versus* não aparentado) e o seu valor genético intrínseco (padrão elevado *versus* padrão regular ou inferior) (Miranda Filho e Gorgulho 2001; Hallauer et al. 2010).

Apesar da grande aceitação do método *topcross*, o processo de escolha do testador ideal ainda continua sendo um objetivo a ser alcançado para os programas de desenvolvimento de híbridos, uma vez que questões referentes a escolha, tipo, número e eficiência dos testadores se perpetuam em meio a estudos teóricos e experimentais (Ferreira et al. 2009). De acordo com Hallauer et al. (2010), a escolha do testador deve recair sobre a simplicidade em sua utilização e na geração de informações que classifiquem corretamente o potencial relativo das linhagens em cruzamento, maximizando, portanto, o ganho genético. Segundo Rodovalho et al. (2012), é mais importante utilizar testadores com base genética ampla (sintéticos e variedades de polinização aberta) durante a fase inicial do melhoramento, uma vez que estes testam para capacidade geral de combinação ou aditividade.

Em comparação ao milho comum, existem poucos trabalhos a respeito da definição de testadores para milho-pipoca (Pinto et al. 2004; Viana et al. 2007; Scapim et al. 2008; Arnhold et al. 2009). Um detalhe importante que, possivelmente, dificulta a definição do testador mais adequado está no fato de que as duas principais características da cultura, capacidade de expansão e rendimento de grãos, que devem ser avaliadas juntas, apresentam mecanismos de herança distintos (Pereira e Amaral Júnior 2001). A capacidade de expansão é controlada por um pequeno número de genes e há predominância de ação gênica aditiva (Yongbin et al. 2012; Rodovalho et al. 2014). Por outro lado, o rendimento de grãos é controlado geneticamente por um grande número de genes com predominância de efeitos gênicos não aditivos.

Dadas as considerações apresentadas, delineou-se este trabalho com o objetivo de avaliar e comparar quatro testadores (BRS Angela, UENF-14, IAC 125 e P_2) na avaliação

de 50 famílias parcialmente endogâmicas (S_3) obtidas da variedade UENF-14 de milho-pipoca.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 50 famílias S_3 de milho-pipoca, obtidas a partir da variedade UENF-14 da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) (Amaral Júnior et al. 2013). Como testadores, foram avaliados quatro materiais: BRS Angela (variedade de polinização aberta), IAC 125 (híbrido triplo), Linhagem P_2 (geração S_7 oriunda do composto CMS-42 da Embrapa Milho e Sorgo) e UENF-14 (variedade de polinização aberta). As avaliações dos híbridos foram realizadas na Estação Experimental da PESAGRO-RIO, em Itaocara, Rio de Janeiro, localizada na Região Noroeste Fluminense (latitude de 21°39'S e longitude de 42°04'O), na safra de 2013/2014.

Foram implementados cinco experimentos em blocos ao acaso com duas repetições, quatro para avaliar os híbridos derivados dos cruzamentos das famílias com cada testador e o quinto e último para avaliar o desempenho das famílias S_3 *per se*. Cada unidade experimental foi constituída por uma fileira de 3 m, com espaçamento de 0,90 m entre fileiras e cinco plantas por metro. Nos experimentos, os tratamentos culturais empregados, como adubação de plantio e cobertura, irrigação, controle de pragas e ervas, entre outros, procederam-se conforme as exigências da cultura do milho-pipoca.

As características avaliadas foram rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE). O RG foi avaliado pela aferição da massa de grãos produzidos em cada parcela, após a eliminação do sabugo, sendo expressa em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Com a finalidade de adequar a mensuração do RG, foi realizado o método de correção de estande, por meio da análise de covariância entre o número de plantas por parcela e o RG observado, de acordo com a metodologia de covariância de estande ideal proposta por Vencovsky e Barriga (1992). A CE foi mensurada por meio de uma amostra de sementes, retirada da parte centro-basal das espigas (Granate et al. 2002), em cada parcela. Todas as amostras foram encaminhadas para câmara fria seca, para atingir a umidade de equilíbrio de 13 a 14%. A CE foi determinada em laboratório, pela utilização de forno micro-ondas da marca Panasonic modelo NN-S65B, colocando-se uma amostra de 30 g de sementes em pote plástico especial obtido nos Estados Unidos, na potência de 1.000 W, por 2 minutos e 30 segundos, em duas

→

repetições por tratamento. A CE foi expressa pela razão entre o volume da pipoca expandida, medido em uma proveta graduada de 2.000 mL, e a massa de grãos inicial (30 g), sendo a unidade final expressa em mL·g⁻¹.

A análise estatística dos dados seguiu o modelo de blocos ao acaso. Os quadrados médios de tratamento e de resíduo foram utilizados para o teste F. O estudo da capacidade geral e específica de combinação, baseado apenas nos cruzamentos *topcrosses*, foi realizado de acordo com o esquema da análise de variância em dialelo parcial em nível de médias dos tratamentos, utilizando o modelo proposto por Griffing (1956), adaptado por Geraldi e Miranda Filho (1988). A eficiência dos testadores foi avaliada pelos índices estatísticos de performance (P) e de diferenciação (D), propostos por Fasoulas (1983). O índice P fornece a porcentagem, em relação ao número de médias, que uma cultivar em particular supera as demais estatisticamente com base na diferença mínima

significativa (DMS), determinada por teste de médias. O índice D fornece o percentual de comparações, aos pares, entre cultivares que apresentaram diferenças significativas. As análises foram realizadas utilizando o programa GENES (Cruz 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadrados médios dos tratamentos (*topcrosses*) foram significativos, ao nível de 5% de probabilidade, para os quatro testadores e as famílias *per se*, indicando a ocorrência de variabilidade genética para RG e CE (Tabela 1). Os coeficientes de variação (CV_e) para RG e CE ficaram compreendidos dentro dos limites aceitáveis para experimentação agrícola, exceto o experimento da avaliação das linhagens *per se*, que obtiveram valores de CV_e de 24,62 e 26,00, respectivamente,

→

Tabela 1. Análise de variância e estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos para rendimento de grãos (em kg·ha⁻¹) e capacidade de expansão (em mL·g⁻¹) dos híbridos *topcrosses* e das famílias S₃ *per se*.

FV	GL	Quadrados médios				
		BRS Angela	IAC 125	P ₂	UENF14	S ₃ <i>per se</i>
Rendimento de grãos						
Repetições	1	2183900,99	593525,18	343761,99	370365,60	7651779
Tratamentos	49	1219809,45**	1178969,05**	1056164,30*	1127949,90**	398531,47**
Resíduo	49	489229,97	573285,61	540400,29	544026,16	122655,83
Média		4638,79	4531,62	5264,58	4353,59	1346,69
$\hat{\sigma}_G^2$		22830,61	18927,61	16117,62	18247,62	8621,11
$\hat{\sigma}_F^2$		38119,04	36842,78	33005,13	35248,43	12454,11
\hat{h}^2		0,59	0,51	0,49	0,51	0,69
CV _e		15,07	16,71	13,96	16,94	26,00
CV _g		3,25	3,03	2,41	3,10	6,89
I _v (%)		21,61	18,17	17,27	18,31	26,52
Capacidade de expansão						
Repetições	1	0,24	1,62	14,31	3,05	32,12
Tratamentos	49	23,21**	25,04**	27,60**	18,35**	67,87*
Resíduo	49	19,46	10,89	13,58	7,85	38,11
Média		30,99	32,13	25,44	30,13	25,06
$\hat{\sigma}_G^2$		0,11	0,44	0,44	0,33	0,93
$\hat{\sigma}_F^2$		0,72	0,78	0,86	0,57	2,12
h^2		0,16	0,56	0,51	0,57	0,44
CV _e		14,23	14,22	14,48	9,3	24,62
CV _g		1,10	2,07	2,60	1,90	3,85
I _v (%)		7,76	14,55	17,97	20,44	15,63

*, **Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; $\hat{\sigma}_G^2$ = Variância genotípica; $\hat{\sigma}_F^2$ = Variância fenotípica; \hat{h}^2 = Herdabilidade; CV_e = Coeficiente de variação ambiental; CV_g = Coeficiente de variação genético; I_v (%) = Índice de variação.

sendo considerados elevados (Scapim et al. 1995; Arnhold e Milani 2011; Fritsche Neto et al. 2012).

Em se tratando das estimativas dos parâmetros genéticos, verificou-se que as maiores variâncias genéticas ocorreram com o cruzamento BRS Angela \times S₃ (22.830,61) e com as famílias S₃ *per se* (0,93) para RG e CE, respectivamente (Tabela 1). A maior ampliação da variabilidade nos híbridos *topcrosses* provenientes do testador BRS Angela, para RG, pode ser explicada por se tratar de um testador de base genética ampla e não relacionado, ou ainda por apresentar muitos locos em heterozigose. Cabe ressaltar que a elevada variabilidade observada nas famílias S₃ *per se*, para CE, está possivelmente relacionada com a variância genética intrapopulacional, por se tratarem de indivíduos oriundos da mesma população (UENF-14) (Amaral Júnior et al. 2013).

Considerando as estimativas de herdabilidade, observa-se que, de maneira geral, suas magnitudes se mantiveram muito próximas, independentemente do testador utilizado. A exceção se aplica aos híbridos oriundos do testador BRS Angela, especificamente para a variável CE, constatando-se que esse testador não foi capaz de expressar a variabilidade genética entre as famílias S₃ (Tabela 1).

Observou-se efeito significativo das capacidades geral e específica de combinação, estimadas pela análise dialélica de Griffing (1956), adaptada por Geraldi e Miranda Filho (1988). As capacidades geral e específica de combinação das famílias S₃ e dos testadores apresentaram significância estatística revelando a existência de diferenças, para as duas características, entre os valores das estimativas de capacidade combinatória, geral (\hat{G}_i) e específica (\hat{S}_{ij}) (Tabela 2). Em relação à capacidade geral de combinação, o testador com melhor estimativa de \hat{G}_i para RG foi a linhagem P₂, enquanto que, para CE, os testadores IAC 125 e BRS Angela obtiveram as melhores estimativas, denotando a maior complementaridade alélica desses testadores com

as famílias S₃ (Figura 1). Barreto et al. (2012) avaliaram a capacidade combinatória de famílias S₂ de milho-pipoca e também obtiveram resultado semelhante para o testador IAC 125, indicando-o como o testador com os melhores índices de capacidade geral de combinação (CGC) para CE.

As famílias S₃ que apresentaram maiores estimativas de CGC foram 9, 33, 4, 20 e 16 para RG, e 18, 23, 42, 11 e 25

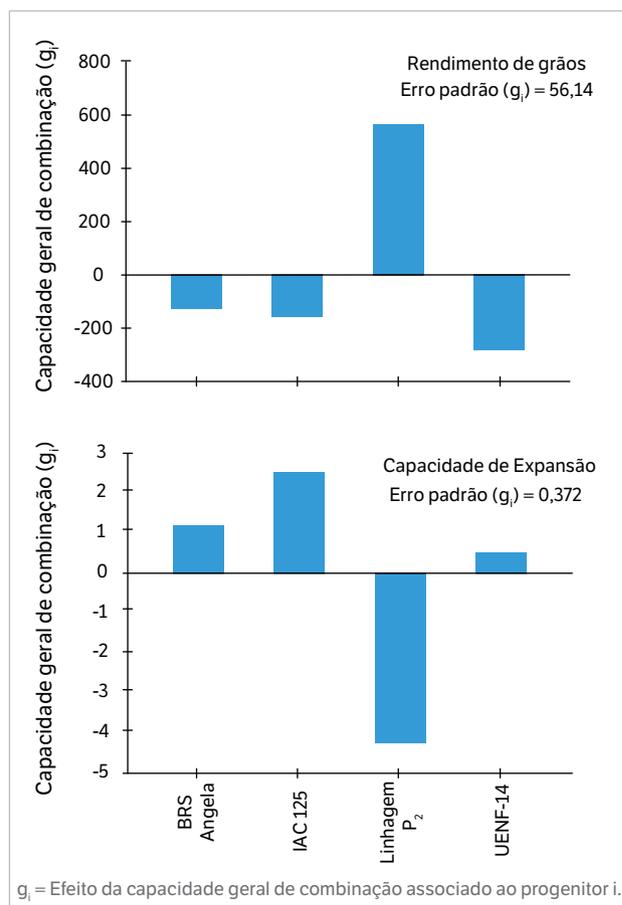


Figura 1. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{G}_i) associados aos testadores para rendimento de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e capacidade de expansão ($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$) de acordo com o modelo de Griffing (1956).

Tabela 2. Análise do dialelo parcial das médias dos tratamentos, para rendimento de grãos e capacidade de expansão, no estudo das capacidades geral e específica de combinação.

FV	GL	QM	
		RG	CE
Cruzamentos	199	1635761,22**	35,25**
CGC Famílias S ₃ (I)	49	1938796,04**	25,25**
CGC Testadores (II)	3	19506622,89**	883,32**
CEC	147	1170038,15**	21,28**
Resíduo	196	536735,51	12,94

**Significativo a 1% de probabilidade; QM = Quadrados médios; FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; RG = Rendimento de grãos; CE = Capacidade de expansão; CGC = Capacidade geral de combinação; CEC = Capacidade específica de combinação.

para CE (Figura 2). Dentre as 50 famílias S_3 , apenas 9, 16 e 23 se destacaram por apresentarem, concomitantemente, estimativas significativamente positivas de CGC para RG e CE, devendo ser avaliadas com maior atenção no programa de melhoramento desenvolvido no Norte e Noroeste Fluminense pela UENF.

Analisando a capacidade específica de combinação das famílias S_3 para cruzamentos com o testador BRS Angela, verificou-se que as famílias 21, 4, 13, 50, 22 e 45 detiveram os maiores índices de capacidade específica de combinação (CEC); para o testador IAC 125, destacaram-se as famílias 9, 20, 11, 35, 3 e 45. Para o testador P_2 , as famílias 49, 43, 24, 41, 18 e 50 apresentaram os maiores índices de CEC e, em relação ao testador UENF-14, as famílias 19, 2, 4, 45, 48 e 47 foram aquelas com maiores estimativas de \hat{S}_{ij} (Tabela 3). Observa-se que os dois híbridos que apresentaram melhores estimativas dos efeitos da CEC foram oriundos dos cruzamentos entre o testador P_2 e a família 49 e entre o testador IAC 125 e a

família 9. Esses híbridos, respectivamente, detiveram efeitos \hat{S}_{ij} de 2.359 e 1.960, além de apresentarem valores em torno de 7.400 kg·ha⁻¹. Esses dois híbridos são muito interessantes por expressarem em seus genótipos elevados efeitos genéticos não aditivos, derivados das complementações alélicas de seus respectivos genitores, e certamente irão compor híbridos com elevada produtividade média de grãos, podendo ser úteis em programas de melhoramento de milho-pipoca interpopulacionais.

De acordo com os resultados obtidos das estimativas de CEC, para a característica CE, as famílias com melhores desempenhos em relação ao testador BRS Angela foram os genótipos 19, 44, 39, 30, 31 e 50. Já para o testador IAC 125, as famílias com maiores índices foram 2, 49, 17, 46, 44 e 39. Para o testador P_2 , as famílias com maiores efeitos de CEC foram 2, 30, 1, 39, 45 e 46 e, para o testador UENF-14, as famílias 26, 22, 1, 20, 40 e 37 se destacaram com os maiores índices de \hat{S}_{ij} (Tabela 4). Entre os cruzamentos superiores em

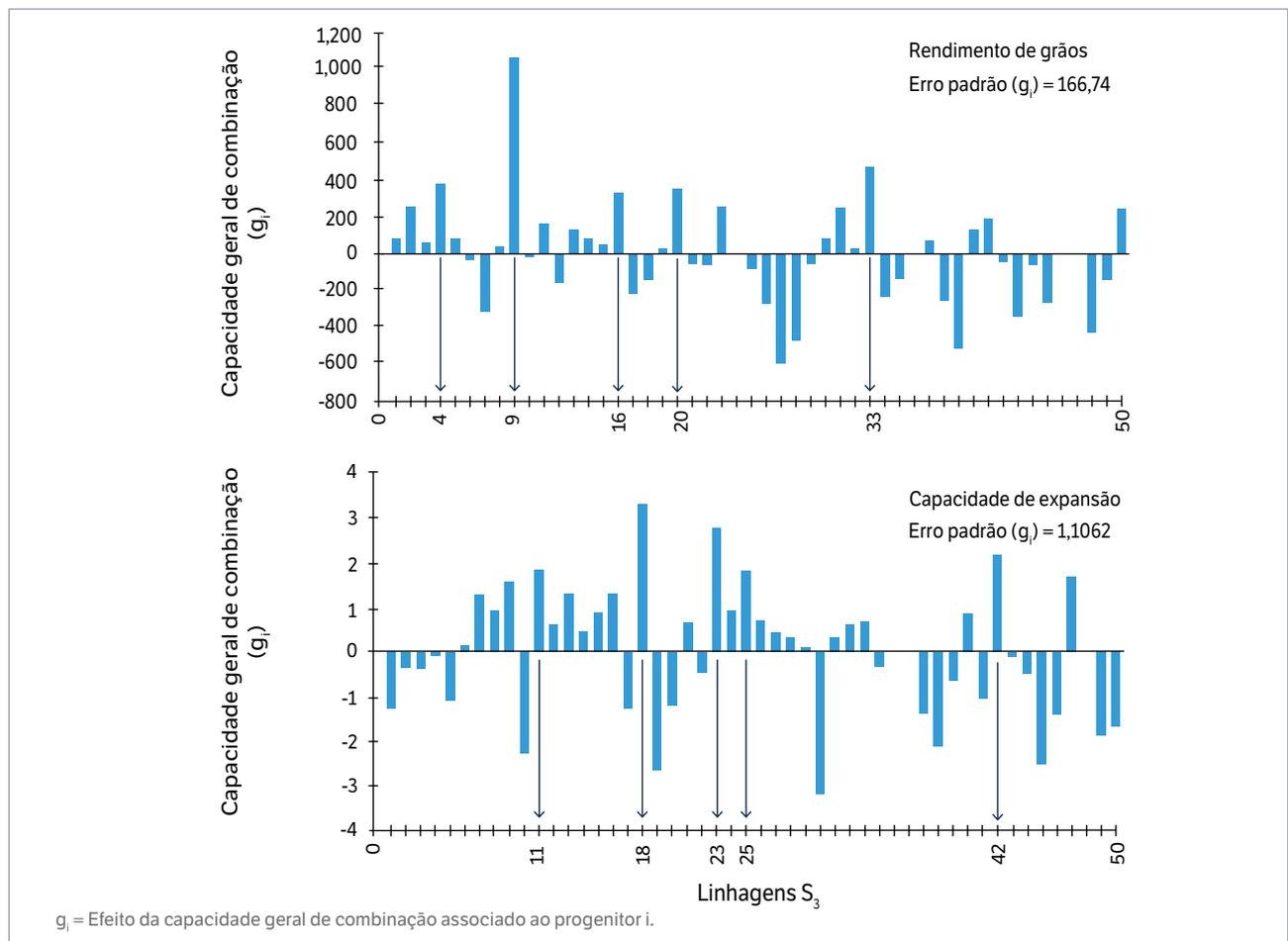


Figura 2. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{G}_i) associados às famílias S_3 para rendimento de grãos (kg·ha⁻¹) e capacidade de expansão (mL·g⁻¹) de acordo com o modelo de Griffing (1956).

Tabela 3. Média, estimativas da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) e capacidade de discriminação dos testadores de acordo com o índice D e índice de performance P (Fasoulas 1983), para rendimento de grãos (kg-ha⁻¹) dos híbridos *topcrosses*, fundamentado no teste t de Student (0,05) de comparações de médias.

Ordem	BRS Angela			IAC 125			P ₂			UENF-14			
	S ₃	Média	\hat{S}_{ij}										
1°	4	5113,81	1463,8	9	7444,44	1960,3	49	7349,70	2359	2	6803,70	1223,7	
2°	9	5112,79	771,9	20	6481,48	1712,5	41	6768,82	1445	19	6039,06	1719,6	
3°	13	4790,06	1387,6	11	5577,78	996,7	24	6589,84	1460	4	5837,04	1169,4	
4°	50	4751,87	1235,2	33	5574,07	689,1	43	6580,71	1785	20	5352,94	709,6	
5°	16	4583,67	981,8	3	5451,85	976	50	6454,00	1074	47	5296,88	957	
6°	22	4359,79	1149,8	14	5374,07	875,5	18	6370,02	1375	46	5251,93	-1032	
7°	15	4195,29	871,0	31	5346,30	681	2	6235,66	846,5	16	5238,64	619,1	
8°	23	4160,94	634,1	35	5274,07	993,5	30	6120,85	903	44	5238,64	-563,6	
9°	33	4150,85	409,2	37	5222,22	736,8	36	6102,33	965,5	23	5174,58	630,1	
10°	30	4128,63	774,0	45	5088,89	943,0	13	6012,06	746,3	21	5076,77	842,2	
11°	31	4111,77	589,7	25	5081,48	747,9	1	5846,00	628,6	30	5072,98	700,7	
12°	45	4108,45	1106	5	5000,00	504,6	10	5830,41	715,2	24	4976,69	294,2	
13°	41	4002,19	-459,7	23	4970,37	300,3	15	5823,77	636,2	3	4954,97	604,7	
14°	7	3964,13	1007,4	41	4855,56	251,9	31	5783,81	398,5	9	4932,24	-426,2	
15°	6	3930,67	695,7	4	4851,85	58,6	29	5734,88	653,4	31	4883,51	-1104	
16°	17	3874,61	819,4	42	4840,74	470,9	11	5719,29	418,2	15	4875,67	533,7	
17°	8	3811,64	499,3	1	4829,63	332,2	33	5608,96	4,0	8	4832,24	502,2	
18°	3	3807,43	-603,9	18	4829,63	555,3	17	5583,98	665,5	32	4775,59	459,2	
19°	19	3775,24	-604,8	19	4662,96	217,8	8	5537,81	362,2	10	4725,85	456,2	
20°	40	3749,51	344,7	50	4655,56	-4,4	9	5511,11	-5,7	11	4712,71	257,3	
21°	2	3722,37	196,5	46	4625,93	205,2	44	5504,05	430,7	6	4648,65	396	
22°	46	3637,06	359,6	8	4618,52	162,9	40	5500,78	232,7	33	4628,03	-131,2	
23°	1	3627,61	273,5	6	4607,41	229,1	14	5464,69	246,1	34	4591,50	539	
24°	20	3549,32	-76,3	16	4511,11	-234	35	5418,52	418	1	4493,86	122,1	
25°	14	3539,23	184,0	36	4496,30	79,4	23	5377,78	-12,2	50	4453,96	38,7	
26°	32	3515,47	216,7	30	4492,59	-5,3	4	5352,80	-160	22	4409,94	182,3	
27°	21	3488,01	1517,1	15	4488,89	21,3	19	5331,96	166,8	13	4373,49	-46,5	
28°	37	3406,41	64,3	32	4474,07	32,06	42	5317,92	228,1	37	4368,27	8,5	
29°	5	3378,44	26,3	47	4429,63	3,06	25	5208,96	155,4	40	4362,96	317	
30°	42	3369,24	142,7	2	4400,00	-269,1	5	5207,41	-7,9	49	4183,59	-415	
31°	36	3356,21	82,6	49	4385,19	114,6	34	5168,99	271	29	4118,52	-117,3	
32°	11	3329,14	-1094	26	4377,78	232,4	47	5061,01	-85,5	28	4107,41	286,3	
33°	38	3270,52	254,2	44	4225,93	-127,3	3	4991,22	-204	39	4093,10	6	
34°	34	3260,94	-590,7	39	4137,04	235,3	38	4977,18	97,6	26	4058,67	38,9	
35°	43	3252,00	-1023	12	4051,85	-207,3	16	4963,14	-502	12	3942,34	-191,2	
36°	35	3251,36	114,2	24	4033,33	-376,8	37	4807,58	-398	7	3805,22	-169,1	
37°	39	3181,63	-740,6	10	4000,00	-395,2	28	4754,18	87,5	14	3799,92	-573	
38°	10	3164,13	-87,8	34	3970,37	-207,7	20	4719,89	-769	25	3760,86	-447,0	
39°	26	2980,99	-21,06	48	3951,85	-36,9	12	4664,51	-314	41	3747,06	-59,4	
40°	18	2849,70	-281,3	38	3940,74	-218,8	32	4583,03	-580	36	3730,64	-560,5	
41°	25	2846,64	-343,5	13	3770,37	-775,3	45	4562,19	-303	18	3495,20	-653,4	
42°	49	2842,42	-1315	40	3729,63	-818,4	6	4436,44	-662	48	3448,15	996	
43°	47	2780,35	-502,9	29	3585,19	-776,2	7	4434,88	-385	38	3423,23	-610	
44°	27	2630,67	-42,8	43	3540,74	-534,2	27	4426,53	-110	5	3416,92	-952,8	
45°	48	2622,24	-223,2	22	3496,30	-856,9	48	4401,55	-307	35	3407,91	-747	
46°	12	2529,27	-586,6	21	3340,74	-1019	26	4284,58	-581	43	3385,69	-1084	
47°	24	2231,31	-1035	28	3255,56	-691,1	46	4283,21	-857	27	3306,82	-384,3	
48°	28	2121,22	-682,2	27	3122,22	-694,6	21	4095,09	-985	42	3159,77	-731	
49°	44	2113,30	-1096	7	2966,67	-233,3	22	3883,98	-120	17	3150,17	-922,7	
50°	29	1125,56	-2092	17	2651,85	-880	39	3829,80	-792	45	2988,30	1011	
		D = 28,24			D = 26,53			D = 27,18			D = 28,98		

Tabela 4. Média, estimativas da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) e capacidade de discriminação dos testadores, de acordo com o índice D e índice de performance P (Fasoulas 1983), para capacidade de expansão (mL.g⁻¹) dos híbridos *topcrosses*, fundamentado no teste t de student (0,05) de comparações de médias.

Ordem	BRS Angela			IAC 125			P ₂			UENF-14		
	S ₃	Média	\hat{S}_{ij}	S ₃	Média	\hat{S}_{ij}	S ₃	Média	\hat{S}_{ij}	S ₃	Média	\hat{S}_{ij}
1°	44	37,33	7,08	21	41,33	-4	2	34,17	9,22	40	34,83	3,93
2°	39	36,67	6,56	2	40,67	8,96	1	31,92	7,88	25	34,58	2,74
3°	7	36,25	4,2	45	40,00	3,04	7	30,58	4,01	4	33,83	3,88
4°	31	35,83	4,76	23	36,67	1,83	30	30,50	8,37	47	33,58	1,85
5°	19	35,42	7,3	48	36,25	0,39	39	30,42	5,75	1	33,33	4,55
6°	18	35,00	0,95	44	35,42	3,84	18	29,33	0,73	11	33,00	1,11
7°	48	34,67	3,88	9	35,00	1,37	8	29,25	3,03	20	32,92	4,05
8°	13	34,58	2,54	39	35,00	3,57	46	29,00	5,09	27	32,83	2,35
9°	16	34,25	2,19	25	34,58	0,72	45	28,25	5,47	14	32,58	2,07
10°	34	34,00	2,49	14	34,58	2,05	23	28,08	0,01	37	32,58	3,91
11°	33	33,92	3,6	46	34,58	3,92	12	27,75	1,83	15	32,42	1,49
12°	2	33,83	3,4	33	34,50	1,76	27	27,58	1,84	22	32,33	5,41
13°	21	33,75	2,3	35	34,50	2,39	49	27,58	4,15	23	32,33	-0,5
14°	26	33,67	2,22	49	34,50	4,31	9	27,42	0,55	31	32,33	1,95
15°	14	33,42	2,2	41	34,33	3,30	16	27,33	-6,8	8	32,25	1,29
16°	23	33,33	-0,2	47	34,17	0,42	40	27,25	1,09	34	32,00	2,3
17°	50	33,33	4,25	37	33,42	2,73	21	27,17	1,23	48	31,92	1,83
18°	30	33,08	5,52	6	33,33	1,12	48	27,00	1,66	45	31,42	3,89
19°	47	32,92	0,48	24	33,33	0,34	33	26,92	0,94	50	31,33	2,95
20°	5	32,67	3,01	34	33,33	1,60	5	26,50	2,28	49	31,17	3
21°	9	32,42	0,11	40	33,33	0,41	28	26,50	0,88	16	31,00	-0,3
22°	43	32,33	-5,2	42	33,17	-1,1	36	26,25	0,96	39	30,92	1,50
23°	46	32,08	2,73	4	33,17	1,19	4	26,08	0,87	26	30,75	5,92
24°	35	32,00	-8,4	8	33,00	0,02	14	25,92	0,15	35	30,67	0,58
25°	45	32,00	-3,9	15	32,92	-0,1	42	25,58	-1,9	44	30,33	0,77
26°	11	31,92	-0,6	20	32,83	1,95	15	25,42	-0,7	7	30,00	-1,3
27°	32	31,67	0,32	31	32,83	0,43	22	25,08	0,24	24	29,83	-1,1
28°	25	30,92	-1,6	36	32,67	-9,1	13	24,92	-1,7	19	29,50	2,10
29°	20	30,50	0,94	30	32,42	3,53	31	24,92	-0,7	17	29,17	0,38
30°	40	30,17	-1,4	13	32,42	-0,9	10	24,75	1,72	42	29,17	-3,0
31°	42	30,17	-2,7	43	32,42	0,46	26	24,58	-1,4	5	29,08	0,12
32°	15	30,00	-1,6	10	32,17	2,37	6	24,50	-0,9	13	28,92	-2,4
33°	27	29,92	-1,2	18	31,92	-3,4	43	24,25	-0,9	29	28,83	-1,3
34°	24	29,92	-1,7	3	31,58	-0,1	35	24,17	-1,2	2	28,75	-0,9
35°	49	29,83	0,96	5	31,50	0,52	37	24,00	0,1	18	28,75	-4,6
36°	1	29,50	0,03	17	31,42	4,19	20	23,50	-0,6	6	28,42	-1,7
37°	10	29,50	1,03	11	31,33	-2,6	32	23,50	-2,4	28	28,33	-2,0
38°	12	29,33	-2,0	27	31,25	-1,2	44	23,50	-13	38	28,25	0,31
39°	29	29,17	-1,6	1	31,00	0,21	34	23,42	-1,5	9	28,08	-3,5
40°	22	28,67	-1,6	29	31,00	-1,1	11	23,25	-2,3	3	27,83	-1,8
41°	3	28,50	-1,8	50	30,58	0,19	29	23,08	-3,9	41	27,75	-1,2
42°	41	28,50	-1,2	7	30,25	-3,1	25	22,92	-4,2	30	27,67	0,79
43°	4	28,25	-2,4	26	30,08	-2,7	41	22,92	-1,3	43	27,33	-2,6
44°	8	27,75	-3,9	16	30,00	-3,4	19	22,33	-0,3	32	27,17	-3,5
45°	38	27,67	-0,9	28	29,75	-2,6	50	22,17	-1,5	10	26,50	-1,3
46°	17	27,58	-1,9	38	29,33	-0,6	24	21,92	-4,3	12	26,25	-4,4
47°	36	27,25	-3,5	19	28,17	-1,2	47	21,42	-5,5	36	24,42	1,96
48°	28	26,33	-4,7	12	27,33	-5,3	3	20,92	-4,0	33	24,08	-0,2
49°	6	25,83	-5,0	22	26,50	-5,1	38	20,83	-2,3	46	22,25	-6,4
50°	37	25,25	-4,1	32	25,25	-7,4	17	17,25	0,72	21	18,92	-12
		D = 7,51			D = 19,92			D = 16,08			D = 25,22	

CEC, com elevados valores de CGC e relevantes estimativas de CE, pode-se destacar para o testador BRS Angela a família 18, com CE de 35 mL·g⁻¹; para o testador IAC 125, a família 23, com CE de 36,67 mL·g⁻¹ e, com o testador UENF-14, a família 11, com índice de 33 mL·g⁻¹ (Tabela 4). Mediante os diferentes mecanismos de ação gênica do caráter de CE (aditivos e não aditivos), que determinam respectivamente a CGC e a CEC, pode-se inferir que esses cruzamentos são interessantes e também merecem atenção por parte do programa de melhoramento de milho-pipoca da UENF.

Os maiores índices de diferenciação (D) de Fasoulas (1983), para RG, foram obtidos pelos testadores UENF-14 (D = 28,98) e BRS Angela (D = 28,24), indicando esses testadores com maior eficiência em discriminar as famílias S₃ (Tabela 3). Rodovalho et al. (2012), ao avaliarem diferentes testadores na discriminação de 64 famílias S₂ de milho-pipoca, para RG, também indicaram o testador BRS Angela utilizando esse índice de diferenciação. Considerando a variável CE, os maiores índices de diferenciação, 25,22 e 19,92%, foram obtidos, respectivamente, para os testadores UENF-14 e

IAC 125, indicando que esses genitores discriminaram melhor o caráter CE das famílias S₃.

Entre os testadores utilizados, a linhagem P₂ apresentou apenas um híbrido, de elevado RG, combinando com uma das sete famílias S₃ de maiores índices de CGC, a família 2. O testador BRS Angela foi o genitor que mais classificou concomitantemente híbridos de alto rendimento com famílias S₃ de elevado índice de CGC. Das sete famílias S₃ com maiores índices de CGC, cinco que compuseram os híbridos *topcrosses* de maiores rendimentos, entre os 50 produzidos com este testador, em ordem decrescente de produtividade, foram as famílias 4, 9, 16, 23 e 33. Dos nove híbridos *topcrosses* provenientes do IAC 125 que apresentaram melhores médias de RG, três foram formados com famílias (9, 20 e 33) que obtiveram elevados índices de CGC. No testador UENF-14, também figuraram três híbridos *topcrosses* com alta produtividade média de grãos, combinados com famílias de elevado efeito de CGC, a saber, as famílias 2, 4 e 20 (Tabela 5). Assim, pode-se afirmar que o testador BRS Angela discriminou mais coerentemente as famílias S₃, de acordo com seus méritos genéticos, para RG. →

Tabela 5. Ordem classificatória das famílias S₃ com relação aos respectivos valores de capacidade geral de combinação e os nove híbridos *topcrosses* de maiores índices com os testadores, para rendimento de grãos e capacidade de expansão.

S ₃	Rendimento de grãos						Capacidade de expansão						
	RG	T1	T2	T3	T4	CGC	S ₃	CE	T1	T2	T3	T4	CGC
2	1106			7°	1°	7°	1	16,6			2°	5°	
4	1087	1°			3°	3°	2	21,5		2°	1°		
5	1972		5°				4	23,5				3°	
9	2585	2°	1°			1°	7	26,1	3°		3°		
11	1640		3°				8	27,1			7°		
13	1202	3°					9	29,3		7°			7°
14	1397		6°				11	32,2				6°	4°
15	670	7°					13	29,3	8°				
16	1824	5°			7°	5°	14	23,2				9°	
18	817			6°			16	28,5	9°				
19	907				2°		18	35,2	6°		6°		1°
20	1516		2°		4°	4°	19	28,6	5°				
22	1830	6°					20	19,9				7°	
23	1330	8°			9°	6°	21	32,7		1°			
24	1416			3°			23	30,4		4°			2°
30	576			8°			25	30,2		9°		2°	5°
31	1814		7°				27	25,5				8°	
33	2051	9°	4°			2°	30	11,6			4°		
35	938		8°				31	22,9	4°				
36	1316			9°			39	15,5	2°	8°	5°		
37	1531		9°				40	25,2				1°	

Tabela 5. Continuação...

Rendimento de grãos							Capacidade de expansão						
S ₃	RG	T1	T2	T3	T4	CGC	S ₃	CE	T1	T2	T3	T4	CGC
41	1720			2°			42	34,2					3°
43	1084			4°			44	25,2	1°	6°			
44	1364				8°		45	16,2		3°	9°		
46	1276				6°		46	20,0			8°		
47	1414				5°		47	30,2				4°	6°
49	709			1°			48	21,7	7°	5°			
50	974	4°		5°									

T1 – BRS Angela; T2 – IAC 125; T3 – P₂; T4 – UENF-14. RG = Rendimento de grãos; CGC = Capacidade geral de combinação; CE = Capacidade de expansão.

Entre os nove híbridos de melhor índice de CE, obtidos com o testador BRS Angela, apenas um (sexto mais expansivo) foi formado com uma família de elevado índice de CGC; diz-se que a melhor família para tal efeito foi a família 18. Para o testador IAC 125, três híbridos (quarto, sétimo e nono) de maior CE foram compostos por famílias que apresentaram índices elevados de CGC, as famílias 23, 25 e 9. O testador P₂, assim como o testador BRS Angela, classificou apenas um híbrido com elevada CE (sexto melhor híbrido) com a família 18, que foi a de melhor índice de CGC para o caráter. Dos híbridos provenientes do testador UENF-14 que apresentaram as maiores médias de CE, três foram formados por famílias com efeitos de CGC significativamente altos, as famílias 11, 25 e 47 (Tabela 5). Os testadores IAC 125 e UENF-14 se destacaram por apresentarem três híbridos *topcrosses*, classificados com altos índices de CE, dentro de

cada grupo (testador), obtidos do cruzamento com famílias S₃ que detiveram elevados índices de CGC. No entanto, os híbridos provenientes do testador IAC 125 promoveram média geral mais elevada para o caráter CE, em relação aos híbridos produzidos pelos cruzamentos com o testador UENF-14. Portanto, é mais coerente que a escolha do melhor testador, para a característica CE, recaia sobre o IAC 125.

CONCLUSÃO

Os testadores BRS Angela (para RG) e IAC 125 (para CE) foram os que se destacaram quando combinados com famílias S₃ derivadas da variedade UENF-14, para produção de híbridos de milho-pipoca para as Regiões Norte e Noroeste Fluminense.

REFERÊNCIAS

- Amaral Júnior, A. T., Gonçalves, L. S. A., Freitas Júnior, S. P., Candido, L. S., Vitorazzi, C., Pena, G. F., Ribeiro, R. M., Silva, T. R. C., Pereira, M. G., Scapim, C. A., Viana, A. P. e Carvalho, G. F. (2013). UENF-14: a new popcorn cultivar. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13, 218. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332013000300013>.
- Arnhold, E. e Milani, K. F. (2011). Rank-ordering coefficients of variation for popping expansion. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33, 527-531. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.11911>.
- Arnhold, E., Viana, J. M. S. e Silva, R. G. (2009). Associação de desempenho entre famílias S₃ e seus híbridos *topcross* de milho-pipoca. *Revista Ciência Agronômica*, 40, 396-399.
- Barreto, R. R., Scapim, C. A., Amaral Júnior, A. T., Rodovalho, M. A., Vieira, R. A. e Schuelter, A. R. (2012). Avaliação da capacidade de combinação de famílias S₂ de milho-pipoca por meio de diferentes testadores. *Semina: Ciências Agrárias*, 33, 873-890. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n3p873>.
- Cruz, C. D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35, 271-276. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Davis, R. L. (1927). Report of plant breeder. Mayaguez: Puerto Rico Agricultural Experiment Station.

- Fasoulas, A. C. (1983). Rating cultivars and trials in applied plant breeding. *Euphytica*, 32, 939-943. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00042176>.
- Ferreira, E. A., Paterniani, M. E. A. G. Z., Duarte, A. P., Gallo, P. B., Sawazaki, E., Azevedo Filho, J.A. e Guimarães, P. S. (2009). Desempenho de híbridos *topcrosses* de linhagens S_3 de milho em três locais do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 68, 319-327. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000200005>.
- Fritsche Neto, R., Vieira, R. A., Scapim, C. A., Miranda, G. V. e Rezende L. M. (2012). Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. *Acta Scientiarum Agronomy*, 34, 99-101. <http://10.4025/actasciagron.v34i1.13115>.
- Geraldi, I. O. e Miranda Filho, J. B. (1988). Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. *Brazilian Journal of Genetics*, 2, 419-430.
- Granate, M. J., Cruz, C. D. e Pacheco, C. A. P. (2002). Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho-pipoca cms-43. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37, 101-108. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000700014>.
- Griffing, A. R. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science*, 9, 463-493.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J. e Miranda Filho, J. B. (2010). Quantitative genetics in maize breeding. Iowa: Springer.
- Jenkins, M. T. e Brunson, A. M. (1932). Methods of testing inbred lines of maize in crossbred combinations. *Journal of the American Society of Agronomy*, 24, 523-530.
- Miranda Filho, J. B. e Gorgulho, E. P. (2001). Cruzamentos com testadores e dialelos. In L. L. Nas, A. C. C. Valois, I. S. Melo, e M. C. Valadares, *Inglis recursos genéticos e melhoramento: plantas* (p. 649-672). Rondonópolis: Fundação-MT.
- Pereira, M. G. e Amaral Júnior, A. T. (2001). Estimation of genetic components in popcorn based on the nested design. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 1, 3-10. <http://dx.doi.org/10.13082/1984-7033.v01n01a01>.
- Pinto, R. J. B., Scapim, C. A., Ferreira Neto, A., Pacheco, C. A. P., Royer, M., Pedroni, M. V., Salvadori, R. K. e Silva, R. M. (2004). Analysis of testers of broad and narrow genetic base for topcrosses in popcorn breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 4, 152-162.
- Rodvalho, M., Mora, F., Arriagada, O., Maldonado, C., Arnhold, E. e Scapim, C.A. (2014). Genetic evaluation of popcorn families using a Bayesian approach via the Independence chain algorithm. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 14, 261-265. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332014v14n4n41>.
- Rodvalho, M., Scapim, C. A., Barth Pinto, R. J., Barreto, R. R., Ferreira, F. R. A. e Clóvis, L. R. (2012). Comparação de testadores em famílias S_2 obtidas do híbrido simples de milho-pipoca IAC-112. *Bioscience Journal*, 28, 145-154.
- Scapim, C. A., Carvalho, C. G. P. e Cruz, C. D. (1995). Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30, 683-686.
- Scapim, C. A., Royer, M. R., Barth Pinto, R. J., Amaral Júnior, A. T., Pacheco, C. A. P. e Moterle, L. M. (2008). Comparison of testers in the evaluation of combining ability of S_2 families in popcorn. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 7, 83-91.
- Seifert, A. L., Carpentieri-Pípolo, V., Ferreira, J. M. e Gerage, A. C. (2006). Análise combinatória de populações de milho-pipoca em *topcrosses*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41, 771-778. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500008>.
- Souza Neto, I. L., Barth Pinto, R. J., Scapim, C. A., Jobim, C. C., Figueiredo, A. S. T. e Bignotto, L. S. (2015). Diallel analysis and inbreeding depression of hybrid forage corn for agronomic traits and chemical quality. *Bragantia*, 74, 42-49. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0315>.
- Vencovsky, R. e BARRIGA, P. (1992). Genética biométrica no melhoramento. Ribeirão Preto: SBG.
- Viana, J. M. S., Condé, A. B. T., Almeida, R. V., Scapim, C. A. e Valentini, L. (2007). Relative importance of *per se* and *topcross* performance in the selection of popcorn S_3 families. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 7, 74-81.
- Yongbin, D., Zhongwei, Z., Qingling, S., Qilei, W., Qiang, Z. e Yuling, L. (2012). Quantitative trait loci mapping and meta-analysis across three generations for popping characteristics in popcorn. *Journal of Cereal Science*, 56, 581-586. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.006>.