

CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE CULTIVARES DE ARROZ VERMELHO

Odilone Peixoto de Moraes Júnior¹, Paulo Henrique Ramos Guimarães², Orlando Peixoto de Moraes⁴, José Almeida Pereira³, Paula Pereira Torga⁴, José Manuel Colombari Filho⁴, Rodrigo Gomes Branquinho¹

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., genética quantitativa, análise dialélica, heterose

INTRODUÇÃO

As cultivares de arroz vermelho disponíveis, em geral, possuem arquitetura de planta tradicional e alta suscetibilidade ao acamamento, com baixo potencial de produção. Porém, existem algumas cultivares com arquitetura de planta moderna, baixo índice de acamamento e elevado potencial produtivo, que podem ser importantes para programas de melhoramento visando o desenvolvimento de cultivares superiores de arroz vermelho (Pereira et al., 2006). A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) estabeleceu uma pequena coleção de cultivares tradicionais de arroz vermelho, sendo algumas já identificadas como potencialmente úteis em cruzamentos (Pereira et al., 2008).

Reconhece-se que a escolha de genitores para o desenvolvimento de populações, capazes de propiciarem ganhos em seleção desejados, constitui uma das etapas mais críticas em programas de melhoramento genético. Nesta escolha, o melhorista dispõe de algumas técnicas, destacando-se entre elas os cruzamentos dialélicos, que permitem a identificação de genitores baseada em seus próprios valores genéticos e, principalmente, nas suas capacidades de se combinarem em híbridos que produzem populações segregantes promissoras (Hallauer et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de análise dialélica, o potencial genético de dez cultivares de arroz vermelho para fins de melhoramento. As informações geradas serão úteis para subsidiar o programa de melhoramento genético, que visa introduzir características potenciais do arroz branco no germoplasma de arroz vermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas nove linhagens de arroz vermelho de grãos cateto: MNA 1101, MNA 1102, MNA 1103, MNA 1104, MNA 1105, MNA 1106, MNA 1107, MNA 1108 e MNA 1109, providas do programa de melhoramento de arroz de grãos especiais da Embrapa; e quatro linhagens de arroz agulhinha, sendo uma de arroz vermelho, SCS Rubi e três de arroz branco: BRA 051077, IRGA 424 e SCS 116 Satoru. As nove linhagens de arroz vermelho tipo cateto foram empregadas como genitores femininos e as outras quatro, como genitores masculinos. Empregou-se o esquema de dialelo parcial (sem recíprocos) e incompleto, tendo sido realizado apenas a metade dos 36 cruzamentos possíveis, envolvendo os dois grupos de genitores.

Os cruzamentos foram feitos na Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. Os 18 cruzamentos (geração F₂), os 13 genitores e uma cultivar testemunha, PB 0405, foram avaliadas na Fazenda Experimental Palmital, Goianira, GO no ano agrícola de 2012/2013, em delineamento experimental alfa látice 8x4 com quatro repetições, sob regime de irrigação por inundação, com lâmina de água controlada. Cada parcela constituiu-se de quatro linhas de 4 m, e 0,30 m entre linhas, com área útil foi de 1,8 m².

¹ Doutorando em Genética e Melhoramento de Plantas - EA/UFG, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, CEP 74001-970. E-mail: odilonpmoraes@gmail.com.

² Mestrando em Genética e Melhoramento de Plantas - EA/UFG, Universidade Federal de Goiás.

³ Pesquisador Embrapa Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, 5650, Buenos Aires, Teresina, PI.

⁴ Pesquisadores Embrapa Arroz e Feijão, Rodovia GO 462, km 12 Zona Rural, Santo Antônio de Goiás, GO.

Foram avaliados os caracteres produção de grãos (PG, em kg ha⁻¹) e altura de plantas (AP, em cm). As médias dos tratamentos (genitores e cruzamentos) foram ajustadas para efeito de blocos dentro de repetições, por meio de análise de variância adotando o modelo $Y_{ijk} = \mu + t_i + r_j + b_{k/j} + e_{ijk}$ em que: y_{ijk} : é o valor observado na parcela experimental que recebeu o tratamento (cruzamento ou genitor) i , no bloco k , na repetição j ; μ é a média geral; t_i : é o efeito do genótipo i , sendo $i = 1, 2, \dots, T$; r_j : é o efeito da repetição j , sendo $j = 1, 2, \dots, J$; $b_{k/j}$: é o efeito de bloco k dentro da repetição j , sendo $k = 1, 2, \dots, K$; e_{ijk} : é o erro experimental associado à ijk -ésima observação, assumindo-se $e_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$. As análises de capacidade combinatória foram realizadas de acordo com o método 2 de Griffing (1956), com a adaptação para dialelo parcial incompleto, devido ao desbalanceamento e não-ortogonalidade dos dados (Silva et al., 2000).

A diagonalização da matriz V^{-1} (inverso da matriz de covariância das médias ajustadas dos tratamentos) foi realizada por meio da fatoração de Cholesky (Schnabel et al., 1990). Com essa operação, obtém-se a matriz congruente U , tal que $U'U = V^{-1}$, empregada na simplificação do modelo linear generalizado de Gauss-Markov (Silva et al., 2000). A matriz de restrições foi estruturada admitindo-se os seguintes cortes no espaço das soluções: $\sum_i^p \hat{g}_i$ (uma restrição); $\sum_i^p s_{ij}$ para cada i (p restrições); i e j variando de 1 a p , sendo p o número de genitores.

Para se calcular a soma de quadrados de capacidade geral ($c\hat{g}c$) e específica ($c\hat{e}c$) de combinação, foi utilizado, devido à particularidade de não ortogonalidade desses dois parâmetros no caso presente, expressão adaptada da equação geral da soma de quadrados de hipótese em modelos lineares (Searle, 1971), para cada componente de variação, como descrito por Pereira et al. (2008). A significância das $c\hat{g}c$ e $c\hat{e}c$ foi testada pelo teste t ($p \leq 0,05$), e a análise de comparações múltiplas entre as $c\hat{g}c$ foi realizada pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Todas as análises estatísticas e operações matriciais necessárias para a estimação dos parâmetros do modelo e de seus erros associados foram realizadas utilizando-se o aplicativo R (R Development Core Team, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado ampla variação entre as médias de tratamentos (genitores e cruzamentos), para o caráter PG ($p \leq 0,01$). As maiores médias de PG foram observadas para os genitores de arroz branco, com média de 5.799 kg ha⁻¹, seguida pela média dos cruzamentos, com 3.853 kg ha⁻¹, e dos genitores de arroz vermelho, com 3.445 kg ha⁻¹. Pode-se observar a tendência de melhoria do nível genético dos cruzamentos em relação aos genitores de arroz vermelho, sendo as médias dos cruzamentos intermediárias às dos grupos de genitores, sem nenhuma evidência de heterose significativa. Esses resultados confirmam as informações de Pereira et al. (2009) de que as cultivares de arroz branco são relativamente mais produtivos do que as cultivares de arroz vermelho, em função dos ganhos devido ao melhoramento acumulados com o primeiro grupo.

Na Tabela 1 encontra-se o resultado das análises de variância relativas a $c\hat{g}c$ e $c\hat{e}c$, para PG e AP. No presente trabalho, não há independência entre os componentes dessas duas fontes de variação e, portanto, as suas SQs, se fossem somadas, não totalizariam a SQ do grupo de tratamentos-dialélico, devido à existência de covariâncias significativas na matriz de variância do vetor de soluções do modelo dialélico empregado.

Tabela 1. Análise de variância dos caracteres produção de grãos (PG, em kg ha⁻¹) e altura de plantas (AP, em cm). Decomposição não ortogonal da soma de quadrados de tratamento

FV	GL	PG		AP	
		SQ	QM	SQ	QM
CGC	12	79.906,49	6.658,87**	13.898,31	1.158,19**
CEC	18	30.329,25	1.684,96**	8.884,98	493,61**
Resíduo	81	42.690,35	527,04	2.999,30	37,03
CV(%)		18,80 ($\hat{\mu} = 3.865$)		4,74 ($\hat{\mu} = 128,35$)	

* e **: significativos em nível de 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F

Pela análise de variância, fica evidenciada a existência de variabilidade genética aditiva e não aditiva significativa para ambos os caracteres PG e AP ($p \leq 0,01$) (Tabela 1). As estimativas de $c\hat{g}c$ para os genitores de arroz branco (SCS 116 Satoru, IRGA 424 e BRA 051077) foram de elevada magnitude, diferentemente ao observado para os de arroz vermelho, principalmente as de grãos catetos utilizadas como genitores femininos, com a maioria das estimativas negativas para PG. A SCS Rubi, agulhinha de grão vermelho, apresentou estimativa $c\hat{g}c$ positiva e não distinta estatisticamente ($p < 0,05$) das apresentadas pela SCS Satoru e IRGA 424. O cruzamento MNA 1107/IRGA 424 apresentou $c\hat{e}c$ de alta magnitude, entretanto este foi negativo, ou seja, o cruzamento entre estes genitores possui um comportamento médio geral inferior. Os cruzamentos que tenderam a aumentar a produção de grãos acima do esperado em razão das respectivas $c\hat{g}c$, foram MNA 1104/ SC IRGA 424, MNA 1109/ SCS Rubi, MNA 1102/ SCS Rubi e MNA 1101/ SCS 116 Satoru, que apresentaram estimativas positivas de $c\hat{e}c$, porém, não se diferindo estatisticamente de zero (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativas de capacidade geral de combinação ($c\hat{g}c$) e capacidade específica de combinação ($c\hat{e}c$) dos cruzamentos (s_{ij}) e dos genitores (s_{ii}) avaliados no programa de melhoramento de arroz vermelho da Embrapa, para o caráter produção de grãos (PG, em kg ha⁻¹)

Genitores	$c\hat{g}c$	Genitores e $c\hat{e}c, s_{ij}$				$c\hat{e}c, s_{ii}$
		SCS Rubi	SCS 116 Satoru	IRGA 424	BRA 051077	
MNA 1101	-454,49** ± 142,5 def	-125 ^{ns}	433 ^{ns}	-	-	-154,0 ^{ns}
MNA 1102	-624,49** ± 153,6 ef	310 ^{ns}	-	-	-	-155,2 ^{ns}
MNA 1103	-271,16 ^{ns} ± 144,9 cdef	-	-	-582 ^{ns}	319 ^{ns}	131,7 ^{ns}
MNA 1104	-645,55** ± 134,8 f	-605 ^{ns}	-350 ^{ns}	620 ^{ns}	-	167,6 ^{ns}
MNA 1105	-152,43 ^{ns} ± 147,9 cdef	-475 ^{ns}	-14 ^{ns}	-	-	244,7 ^{ns}
MNA 1106	95,11 ^{ns} ± 145,6 bcde	-414 ^{ns}	-	-	-564 ^{ns}	489,3 ^{ns}
MNA 1107	58,72 ^{ns} ± 145,4 bcde	-481 ^{ns}	-	-1116**	-	798,9**
MNA 1108	-838,74** ± 143,7 f	596 ^{ns}	-	-601 ^{ns}	-	2,4 ^{ns}
MNA 1109	145,91 ^{ns} ± 142,5 bcd	-532 ^{ns}	-596 ^{ns}	-	-	563,9**
SCS Rubi	333,75** ± 125,1 bc	-	-	-	-	862,9**
SCS 116 Satoru	626,46** ± 138,6 ab	-	-	-	-	263,8 ^{ns}
IRGA 424	576,22** ± 140,0 ab	-	-	-	-	839,9**
BRA 051077	1150,70** ± 148,8 a	-	-	-	-	122,6 ^{ns}

^{ns}, * e **: não significativo e significativos à 5 e 1% pelo teste t; médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 3. Estimativas de capacidade geral de combinação ($c\hat{g}c$) e capacidade específica de combinação ($c\hat{e}c$) dos cruzamentos (s_{ij}) e dos genitores (s_{ii}) avaliados no programa de melhoramento de arroz vermelho da Embrapa, para o caráter altura de plantas (AP, em cm)

Genitores	$c\hat{g}c$	Genitores e $c\hat{e}c, s_{ij}$				$c\hat{e}c, s_{ii}$
		SCS Rubi	SCS 116 Satoru	IRGA 424	BRA 051077	
MNA 1101	3,67** ± 1,26 b	13,43**	11,83**	-	-	-12,63**
MNA 1102	1,01 ^{ns} ± 1,35 b	10,85**	-	-	-	-5,43**
MNA 1103	14,25** ± 1,28 a	-	-	-1,24 ^{ns}	4,00 ^{ns}	-1,38 ^{ns}
MNA 1104	-9,78** ± 1,19 c	-5,25 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-	2,19 ^{ns}
MNA 1105	4,78** ± 1,30 b	5,50 ^{ns}	6,38**	-	-	-5,94**
MNA 1106	3,17* ± 1,28 b	7,04**	-	-	14,38**	-10,71**
MNA 1107	4,84** ± 1,28 b	4,24 ^{ns}	-	11,48**	-	-7,86**
MNA 1108	1,51 ^{ns} ± 1,27 b	9,03**	-	10,20**	-	-9,62**
MNA 1109	5,91** ± 1,26 b	0,72 ^{ns}	5,50 ^{ns}	-	-	-3,11 ^{ns}
SCS Rubi	-1,89* ± 1,10 bd	-	-	-	-	-22,78**
SCS 116 Satoru	-6,82** ± 1,22 cd	-	-	-	-	-12,28**
IRGA 424	-12,48** ± 1,24 c	-	-	-	-	-10,22**
BRA 051077	-8,16** ± 1,31 c	-	-	-	-	-9,19**

^{ns}, * e **: não significativo e significativos à 5 e 1% pelo teste t; médias seguidas pela mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5%

As linhagens/cultivares genitoras são altamente contrastantes quanto à altura de planta. Este caráter variou de 93,2 cm, na IRGA 424, até 153,2 cm, na MNA 1103. Os únicos cruzamentos que tenderam a reduzir o porte de planta foram MNA 1104/ SCS Rubi e MNA 1103/ IRGA 424, que apresentaram estimativas negativas, porém, não se diferiram de zero estatisticamente (Tabela 3). Observa-se que os genitores MNA 1103 e MNA 1109 foram os que apresentaram maiores $c\hat{g}c$, estatisticamente diferentes dos demais, reflexo da divergência genética entre estes e os demais genitores, para o caráter AP (Tabela 3).

Os valores negativos de \hat{s}_{ii} observados para PG e AP possuem grande significado genético (Tabela 3). Segundo Cruz et al., (2012), o sinal negativo indica a existência de desvios de dominância unidirecionais e, conseqüentemente, a manifestação de heterose positiva nas combinações híbridas dos genitores divergentes. A magnitude deste efeito indica a divergência genética do genitor i em relação à média dos outros genitores, ou seja, quanto maior o valor absoluto \hat{s}_{ii} , maior será o efeito da heterose de variedade, ou inerente ao cultivar, que é manifestada em todos os seus híbridos.

CONCLUSÃO

1. As linhagens de arroz vermelho apresentam menor capacidade geral de combinação, para produção de grãos, do que as linhagens de arroz branco, com elevado nível de melhoramento genético, apesar de haver substancial diferenças entre elas quanto a essa característica.
2. A SCS Rubi apresenta capacidade geral de combinação intermediária para produção de grãos, diferindo estatisticamente da BRA 051077 e de quatro do grupo de nove linhagens de arroz vermelho cateto utilizadas como genitoras
3. Houve diferenças significativas entre as $c\hat{g}c$ das linhagens/cultivares genitoras de arroz vermelho para o caráter altura de plantas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Embrapa Arroz e Feijão e aos colaboradores pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. UFV, 2004. 480 p.
- CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 514 p.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Collingwood, v. 9, p. 463-493, 1956.
- HALLAUER, A. R. et al. **Quantitative genetics in maize breeding**. Iowa: The Iowa State University Press, 2010. 663 p.
- PEREIRA, J. A. et al. Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz vermelho cultivado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, 2006.
- PEREIRA, J. A. et al. Análise da heterose de cruzamentos entre variedades de arroz vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1135-1142, 2008.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 maio 2013.
- SCHNABEL, R. B. et al. A new modified cholesky factorization, **SIAM. Journal on Scientific and Statistical Computing**, v. 11, p. 1136–1158. 1990.
- SILVA, S. et al. Método generalizado de análise de dialelos desbalanceados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1999-2005, 2000.