

DESEMPENHO GENOTÍPICO DE LINHAGENS DE ARROZ IRRIGADO NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL, VIA MODELOS MISTOS

José Manoel Colombari Filho¹; Jaison Pereira de Oliveira²; Adriano Pereira de Castro³ e Orlando Peixoto de Moraes⁴

Palavras-chave: *Oryza sativa*; REML; BLUP; estabilidade; adaptabilidade.

INTRODUÇÃO

Os programas de melhoramento genético têm sido à base de sustentabilidade da agricultura moderna, com papel fundamental na viabilização das culturas frente às adversidades ocorrentes. O desenvolvimento de cultivares superiores é constantemente dificultado pela interação genótipo x ambiente (GxE), que resulta do comportamento variável de genótipos em diferentes ambientes (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992). Assim, selecionar genótipos com alta produtividade, estabilidade e adaptabilidade têm sido uma das alternativas para minimizar os efeitos da interação GxE. Para isso, Cruz e Carneiro (2003) ressaltaram que procedimentos de interpretação simples, com uma única medida estatística, devem ser preferidos para a análise da estabilidade e adaptabilidade juntamente com a produtividade, tais como os métodos de Annicchiarico (1992) e Lin e Binns (1988).

Nesse sentido, no contexto de modelos mistos para dados desbalanceamento, existe o método da *Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genotípicos* (MHPRVG), preconizado por Resende (2004), que considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece na mesma escala do caráter avaliado, a estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos preditos e não fenotípicos. Esse método permite o ordenamento dos genótipos simultaneamente pelos seus valores genéticos (produtividade) e estabilidade, pelo procedimento BLUP sob médias harmônicas, de modo que quanto menor o desvio-padrão do comportamento genotípico através dos locais, maior será a *Média Harmônica dos Valores Genotípicos* (MHVG). Também, permite o ordenamento simultâneo dos genótipos para adaptabilidade e produtividade, através da *Performance Relativa dos Valores Genotípicos* (PRVG) resultante dos valores genotípicos preditos (produtividade) expressos como proporção da média geral de cada local, e obtenção do valor médio dessa proporção através dos locais. Por fim, o método permite a seleção simultânea para produtividade, estabilidade e adaptabilidade através dos valores da MHPRVG (RESENDE, 2002 e 2007a).

O presente trabalho teve como objetivo realizar a avaliação genotípica de 56 genótipos (cultivares e linhagens-élite) de arroz irrigado tropical em três locais do estado do Mato Grosso do Sul, em quatro anos agrícolas. Para isso, foram estimados os valores preditos e genotípicos de cada genótipo, para caráter produção de grãos (kg ha⁻¹), para o ambiente médio dos locais, para o estudo da estabilidade e adaptabilidade dos valores genotípicos preditos pelo procedimento da melhor predição linear não viesada (BLUP).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado com um conjunto de dados proveniente de ensaios de "valor de cultivo e uso" (VCU) de arroz irrigado tropical no estado do Mato Grosso do Sul, do período entre os anos agrícolas 2006/07 e 2009/10, do programa de melhoramento do arroz

¹ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, 75375-000, Caixa Postal 179, Santo Antônio de Goiás, Goiás, colombari@cnpaf.embrapa.br (autor correspondente).

² Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, apcastro@cnpaf.embrapa.br.

³ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, jaison@cnpaf.embrapa.br.

⁴ Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Arroz e Feijão, peixoto@cnpaf.embrapa.br.

da Embrapa em parceria com a Fazenda San Francisco (Miranda, MT). Para isso, foram considerados os três locais: Dourados, Miranda e Rio Brilhante, sendo este último não contemplado no ano agrícola 2008/09. Em cada ano agrícola, esses ensaios foram compostos por cerca de 22 genótipos (testemunhas e linhagens-elite em teste de 1º ou 2º ano). Em função da seleção e descarte anual de linhagens-elite, o conjunto de genótipos que compuseram os ensaios foi variável a cada ano agrícola (conjunto desbalanceado de dados), totalizando 56 genótipos avaliados nos quatro anos.

Foi avaliado o caráter produção de grãos (PG), em kg ha⁻¹, e o delineamento experimental adotado foi blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas de 4 linhas de 5 m de comprimento, com densidade de 60 sementes m⁻¹. Para as análises estatísticas utilizou-se o seguinte modelo linear na forma matricial: $y = Xb + Zg + Qga + Tgl + Wgla + \varepsilon$, em que: y é o vetor de observações; b é o vetor dos efeitos das combinações bloco-local-ano (efeitos fixos) somados à média geral; g é o vetor de efeitos genotípicos (aleatórios); ga é o vetor dos efeitos da interação de genótipos x anos (aleatórios); gl é o vetor dos efeitos das interações de genótipos x locais (aleatório); gla é o vetor dos efeitos da interação tripla genótipos x locais x anos (aleatórios); ε é o vetor de erros (aleatórios); e X , Z , Q , T e W representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos, respectivamente. A seleção conjunta por produtividade, estabilidade e adaptabilidade dos cultivares e linhagens-elite baseou-se na estatística MHPRVG preditos, conforme descrito por Resende (2004) e todas as análises foram realizadas pelo software Selegen-REML/BLUP (RESENDE, 2007b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise conjunta, os ensaios conduzidos em Rio Brilhante nos anos agrícolas 2006/07 e 2009/10 não foram considerados devido à baixa precisão experimental pela análise de variância individual (Tabela 1), ou seja, acurácia (Ac) < 0,70 e/ou coeficiente de variação experimental (CV%) > 25% (RESENDE, 2002).

Tabela 1. Locais dos ensaios de VCU com as coordenadas geográficas, anos agrícolas e os respectivos valores de acurácia (Ac) e coeficiente de variação experimental (CV%) das análises de variância individual por local; e médias gerais por local da análise conjunta, para o caráter produção de grãos no estado do Mato Grosso do Sul.

Local	Latitude	Longitude	2006/07		2007/08		2008/09		2009/10		Média geral (kg ha ⁻¹)
			Ac	CV%	Ac	CV%	Ac	CV%	Ac	CV%	
Dourados	22°13'18"S	54°48'23"O	0,76	24,64	0,73	19,92	0,88	10,36	0,93	10,43	7.088,1
Miranda	20°14'34"S	56°21'50"O	0,81	13,22	0,91	10,03	0,87	13,41	0,75	21,97	7.347,9
Rio Brilhante	21°48'8"S	54°32'36"O	0,48	30,10†	0,91	18,04	-	-	0,16	22,05†	5.579,7

† ensaios de VCU desconsiderados na análise conjunta devido à baixa precisão experimental.

Verificou-se pela análise de deviance (ANADEV, Tabela 2), que somente os efeitos de genótipos e da interação tripla genótipos x locais x anos, bem como seus componentes de variância ($\hat{\sigma}_g^2$ e $\hat{\sigma}_{gla}^2$) e coeficientes de determinação (\hat{h}^2 e \hat{c}_{gla}^2), foram altamente significativos ($p \leq 0,01$), enquanto os demais foram não significativos. Assim, houve presença de variabilidade genética entre os genótipos testados, e uma interação baixa de genótipos com locais e anos, a qual foi mais bem evidenciada através dos coeficientes de determinação, com interações genótipos x locais (GxL, \hat{c}_{gl}^2); genótipos x anos (GxA, \hat{c}_{ga}^2) e genótipos x locais x anos (GxLxA, \hat{c}_{gla}^2) que contribuíram com 0,84%, 1,00% e 13,81%, respectivamente, para a variância fenotípica total (Tabela 2). Também, foi observado correlações genotípicas altas, acima de 0,95, tanto através de locais (\hat{r}_{gl} e \hat{r}_{gl_a}), quanto através de anos (\hat{r}_{ga} e \hat{r}_{ga_l}), sugerindo predominância de interações GxE do tipo simples (CRUZ e CASTOLDI, 1991), ou seja, não houve mudanças significativas na performance dos genótipos através dos locais e anos (Tabela 2), o que foi satisfatório.

Na Tabela 3, verificou-se que os 15 melhores genótipos pelo critério de produtividade média (VG) não coincidiram com os 15 melhores pelos critérios MHVG, PRVG e MHPRVG,

mostrando a importância desses atributos para a tomada de decisão na seleção. Pelo critério MHPRVG, os cinco primeiros genótipos acima do cultivar melhor posicionado neste estudo, BRS Ourominas, foram SC 278, CES 06037, CES 06030, AB 061050 e SC 240, com superioridade entre 11 e 15% sobre a média geral dos ambientes, cujos valores já estão penalizados pela instabilidade através dos locais e capitalizados pela adaptabilidade. A linhagem CES 06037 foi a que apresentou maior estabilidade associada à produtividade (MHVG) e, a SC 278 foi a primeira quando à resposta a melhoria do ambiente, com média de 1,15 vezes superior à média de produtividade dos ambientes (PRVG).

Tabela 2. Análise de Deviance (ANADEV), estimativas dos componentes de variância, dos coeficientes de determinação e das correlações genotípicas, referente à análise conjunta dos dados de produção de grãos (kg ha⁻¹) dos ensaios de VCU para o estado do Mato Grosso do Sul do período entre 2006/07 e 2009/10.

Efeito	Deviance	LRT(χ^2)	Comp. Var.†	Coef. Determ.§	Cor. Genotípica§
Genótipos (G)	11.546,52*	11,180**	$\hat{\sigma}_G^2 = 379.253,2$	$\hat{h}^2 = 0,1960 \pm 0,0447$	$\hat{r}_{gl} = 0,951$
G x Anos (A)	11.535,35†	0,010 ^{ns}	$\hat{\sigma}_{GA}^2 = 16.370,5$	$\hat{c}_{GA}^2 = 0,0084$	$\hat{r}_{ga} = 0,959$
G x Locais (L)	11.535,35†	0,010 ^{ns}	$\hat{\sigma}_{GL}^2 = 19.376,2$	$\hat{c}_{GL}^2 = 0,0100$	$\hat{r}_{gl_a} = 0,953$
G x L x A	11.543,67*	8,330**	$\hat{\sigma}_{GAL}^2 = 267.305,2$	$\hat{c}_{GAL}^2 = 0,1381$	$\hat{r}_{ga_l} = 0,961$
Resíduo	-	-	$\hat{\sigma}_e^2 = 1.252.413,9$		$\hat{r}_{gla} = 0,556$
Modelo Completo	11.535,34				Média geral=7.035,98

†: deviance do modelo ajustado sem os efeitos correspondente. ^{ns}, * e **: não-significativo e significativo pelo teste qui-quadrado a 5% (3,84) e 1% (6,63), respectivamente. † $\hat{\sigma}_G^2$: variância genotípica entre linhagens-elite; $\hat{\sigma}_{GA}^2$: var. da interação genótipo x ano; $\hat{\sigma}_{GL}^2$: var. da interação genótipo x local; $\hat{\sigma}_{GAL}^2$: var. da interação genótipo x local x ano; e $\hat{\sigma}_e^2$: var. residual. ‡ \hat{h}^2 : herdabilidade no sentido amplo; \hat{c}_{GA}^2 : coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ano; \hat{c}_{GL}^2 : coef. determ. dos efeitos da interação genótipo x local; e \hat{c}_{GAL}^2 : coef. determ. dos efeitos da interação genótipo x local x ano. § \hat{r}_{gl} : correlação genotípica dos materiais genéticos através dos locais, válida para qualquer ano; \hat{r}_{ga} : cor. genot. dos materiais genéticos através dos anos, válida para qualquer local; \hat{r}_{gl_a} : cor. genot. dos materiais genéticos através dos locais, em um dado ano; \hat{r}_{ga_l} : da correlação genotípica dos materiais genéticos através dos anos, em um dado local; e \hat{r}_{gla} : cor. genot. dos materiais genéticos através dos locais e anos.

Tabela 3. Valores genotípicos preditos (VG), estimativas de acurácia individuais (\hat{r}_{ss}), estabilidade dos valores genotípicos

(MHVG), adaptabilidade dos valores genotípicos (PRVG), valores genotípicos médios capitalizado pela interação (MHVG*MG, sendo MG a média geral), estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (MHPRVG) e valores genotípicos médios nos locais (MHPRVG*MG) para produção de grãos dos 15 melhores genótipos para VG mais outros relevantes, avaliados no estado do Mato Grosso do Sul, no período entre 2006/07 e 2009/10.

Classif.	Genótipo	VG	\hat{r}_{ss}	Estabilidade		Adaptabilidade		Estabilidade e Adaptabilidade			
				Classif.	MHVG	Classif.	PRVG	PRVG*MG	Classif.	MHPRVG	MHPRVG*MG
1º	SC 278	8.010	0,855	7º	7.579	1º	1,15	8.098	1º	1,15	8.095
2º	CES 06037	7.874	0,816	1º	8.075	2º	1,12	7.874	2º	1,12	7.874
3º	AB 061050	7.839	0,719	2º	8.039	4º	1,11	7.839	4º	1,11	7.839
4º	CES 06030	7.790	0,885	14º	7.346	3º	1,12	7.854	3º	1,12	7.853
5º	SC 240	7.775	0,725	3º	7.974	5º	1,11	7.776	5º	1,11	7.775
6º	BRS Ourominas	7.658	0,884	21º	7.213	6º	1,10	7.712	6º	1,10	7.711
7º	Piracema	7.603	0,902	26º	7.151	7º	1,09	7.649	7º	1,09	7.649
8º	Mut/829	7.530	0,725	4º	7.722	8º	1,07	7.530	8º	1,07	7.530
9º	CES 06013	7.441	0,724	5º	7.631	10º	1,06	7.441	10º	1,06	7.441
10º	SCS 115 CL	7.426	0,769	35º	6.984	9º	1,06	7.465	9º	1,06	7.464
11º	BRA 051021	7.409	0,719	6º	7.598	11º	1,05	7.409	11º	1,05	7.409
12º	BRA 051108	7.374	0,719	8º	7.562	12º	1,05	7.374	12º	1,05	7.374
13º	BRA 051250	7.366	0,719	9º	7.554	13º	1,05	7.366	13º	1,05	7.366
14º	CES 06035	7.359	0,821	10º	7.547	14º	1,05	7.359	14º	1,05	7.359
15º	BRS Tropical	7.328	0,902	37º	6.879	15º	1,05	7.356	15º	1,05	7.356
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
31º	CES 06014	7.015	0,816	23º	7.195	31º	1,00	7.016	31º	1,00	7.015
32º	SCS 116 Satoru	6.996	0,719	25º	7.174	32º	0,99	6.996	32º	0,99	6.996
36º	BRA 051077	6.931	0,719	29º	7.107	36º	0,99	6.931	36º	0,99	6.930
44º	EPAGRI 108	6.793	0,725	36º	6.966	44º	0,97	6.793	44º	0,97	6.793
45º	BRS Jaçanã	6.734	0,844	50º	6.266	45º	0,95	6.710	45º	0,95	6.710
49º	BRS Sinuelo CL	6.484	0,855	52º	6.010	50º	0,92	6.439	50º	0,92	6.439
55º	IRGA 424	5.921	0,812	51º	6.073	55º	0,84	5.922	55º	0,84	5.922

No entanto, em função de outros caracteres fundamentais para o arroz, principalmente no que se refere a qualidade de grãos para atender aos padrões de exigência industrial,

comercial e culinária, fizeram com algumas dessas linhagens com altos valores de MHPRVG fossem descartadas e outras com valores acima da principal testemunha (EPAGRI 108) fossem selecionadas. Portanto, as linhagens selecionadas por agregarem qualidade de grãos com valores satisfatórios de MHPRVG (produtividade, estabilidade e adaptabilidade, simultaneamente), altura de planta, ciclo, entre outros, foram: CES 06030, BRA 051108, CES 06014. Por fim, na Figura 1, estão apresentados os diferentes caracteres de cada uma das quatro linhagens selecionadas em paralelo os mais relevantes cultivares de arroz irrigado tropical para o Mato Grosso do Sul, presentes neste estudo.

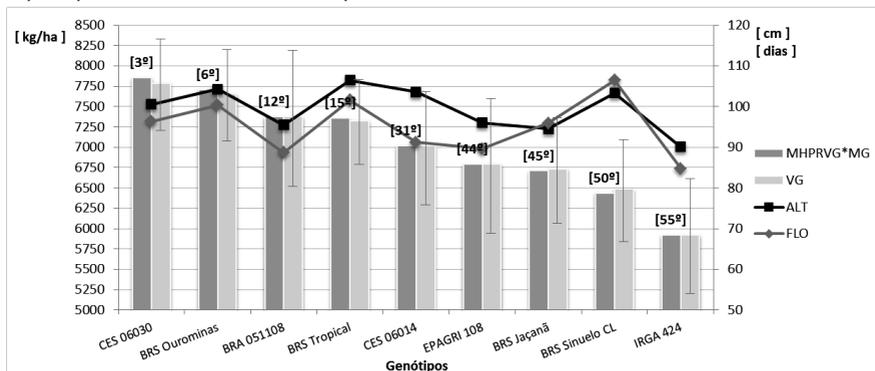


Figura 1. Estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos médios nos locais (MHPRVG*MG) com a posição na classificação; valores genotípicos preditos (VG) com o limite inferior e superior do intervalo de confiança pela distribuição *t* de Student com nível de confiança de 95% de probabilidade (RESENDE, 2002) para produção de grãos (kg ha^{-1}); e, a média para altura de planta (ALT, cm) e dias para o florescimento (FLO, dias) das quatro linhagens selecionadas e testemunhas avaliadas no estado do Mato Grosso do Sul, no período entre 2006/07 e 2009/10.

CONCLUSÃO

As linhagens de arroz irrigado tropical avaliadas no Mato Grosso do Sul apresentaram ótima performance para estabilidade, adaptabilidade e produtividade, simultaneamente, em comparação as principais testemunhas, cultivares recomendados, BRS Ourominas, BRS Tropical e EPAGRI 108, revelando avanços genéticos para a orizicultura deste estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in northern Italy. *Indian Journal of Genetics of Breeding*, Roma, v.46, n.1, p.269-278, Mar. 1992.
- CRUZ, C.D., CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Volume 2. Viçosa, MG: Editora UFV, 2003. 585p.
- CRUZ, C.D.; CASTOLDI, F.L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. *Revista Ceres*, Viçosa, v.38, n.219, p.422-430, Jul./Ago. 1991.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v.68, n.1, p.193-198, Jan./Feb.1988.
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975p.
- RESENDE, M.D.V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 65 p.
- RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007a. 561 p.
- RESENDE, M.D.V. **SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007b. 361 p.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.