

MELHORAMENTO GENÉTICO VEGETAL

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE RELACIONADOS À PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE CULTIVARES DE MILHO ⁽¹⁾

ALBERTO CARGNELUTTI FILHO ^(2*); DILERMANDO PERECIN ^(3,5);
EUCLIDES BRAGA MALHEIROS ^(3,5); JOSÉ PAULO GUADAGNIN ⁽⁴⁾

RESUMO

Foram usados dados de produtividade de grãos oriundos de 34 ensaios de competição de cultivares de milho, realizados no Estado do Rio Grande do Sul nos anos agrícolas 2002/2003 e 2003/2004, com o objetivo de comparar os métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade de: Yates e Cochran (1948), Plaisted e Peterson (1959), Wricke (1965), Annicchiarico (1992), Eberhart e Russell (1966), Tai (1971) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998). Para verificar as concordâncias e/ou discordâncias entre as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, obtidas pelos diferentes métodos, utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman. Cultivares indicadas pelos métodos de Plaisted e Peterson e Wricke estão associadas à maior estabilidade, porém independem da produtividade média e da adaptabilidade a ambientes gerais, favoráveis e desfavoráveis. Cultivares indicadas pelo método YATES e COCHRAN, estão associadas a maior estabilidade, menor produtividade e mais indicadas a ambientes desfavoráveis. Cultivares com alta produtividade e associadas à alta instabilidade e adaptada a ambientes favoráveis são as mais indicadas pelos métodos de Lin e Binns modificado por Carneiro e Annicchiarico. O método de Eberhart e Russell, por considerar simultaneamente a produtividade, a estabilidade e a adaptabilidade a ambientes gerais, favoráveis e desfavoráveis, deve ser a metodologia preferida.

Palavras-chave: *Zea mays*, interação genótipos x ambientes, indicação de cultivares, correlação de Spearman.

ABSTRACT

COMPARISON OF ADAPTABILITY AND STABILITY METHODS RELATED TO GRAIN YIELD OF MAIZE CULTIVARS

Grain yield data were used from 34 maize cultivar trials carried out in the State of the Rio Grande do Sul, in the agricultural years of 2002/2003 and 2003/2004, with the objective of comparing the following methods of adaptability and stability analysis: Yates and Cochran (1948), Plaisted and Peterson (1959), Wricke (1965), Annicchiarico (1992), Eberhart and Russell (1966), Tai (1971) and Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998). In order to verify the degree of agreement among the estimates of adaptability and stability parameters, the Spearman correlation coefficient was used. The cultivars indicated by the methodologies of Plaisted and Peterson and Wricke are associated with the highest stability. However they are independent of the average yield and of the adaptability to general, favorable and unfavorable environments. The cultivars indicated by Yates and Cochran method are associated with the highest stability, less yield and more appropriate to unfavorable environments. The cultivars with high yield and associated to high instability and adapted to favorable environments are preferably indicated by the LIN and BINNS modified by Carneiro and Annicchiarico methods. The Eberhart and Russell methodology must be preferred because of considering simultaneously the yield, the stability and adaptability to general, favorable and unfavorable environments.

Key words: *Zea mays*, genotype x environment interaction, cultivar indication, Spearman correlation

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 7 de março de 2006 e aceito em 13 de abril de 2007.

⁽²⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Estatística, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, 91509-900 Porto Alegre (RS). E-mail: cargnelutti@ufrgs.br (*) Autor correspondente.

⁽³⁾ Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Departamento de Ciências Exatas, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, 14884-900, Jaboticabal (SP). E-mail: perecin@fcav.unesp.br, euclides@fcav.unesp.br.

⁽⁴⁾ Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Rua Gonçalves Dias, 570, Bairro Menino Deus, 90130-060 Porto Alegre (RS).

⁽⁵⁾ Com bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

Em um determinado ambiente, a manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio. Entretanto, quando se considera uma série de ambientes, detecta-se, além dos efeitos de genótipos e de ambientes, um efeito adicional, proporcionado pela interação dos mesmos (CRUZ e REGAZZI, 1997). Essa interação quantifica o comportamento diferenciado dos genótipos diante das variações ambientais e é denominada interação genótipos x ambientes (GxA) (CRUZ e REGAZZI, 1997; RAMALHO et al., 2000; CRUZ e CARNEIRO, 2003). Assim, o comportamento relativo dos genótipos depende, fundamentalmente, das condições ambientais a que estão submetidos.

A interação G x A traz aos melhoristas dificuldades na identificação de genótipos superiores, seja por ocasião da seleção, seja no momento da indicação de cultivares. Assim, a avaliação da interação G x A torna-se de grande importância no melhoramento vegetal, pois, no caso de sua existência, há possibilidades do melhor genótipo em um ambiente não o ser em outro (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Na fase final de um programa de melhoramento de plantas, entre eles o milho (*Zea mays* L.), o desempenho de cultivares em vários ambientes (locais, anos e épocas) tem sido avaliado para verificar seu comportamento diferencial, em face das variações ambientais (CRUZ e REGAZZI, 1997; CRUZ, 2001). Este comportamento diferencial é atribuído à interação GxA e sua existência exige do melhorista estudo detalhado do comportamento das cultivares, por meio da análise de adaptabilidade e estabilidade, para garantir maior segurança às indicações de cultivares (CRUZ, 2001).

A adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos em aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente e a estabilidade diz respeito à capacidade de os genótipos mostrarem comportamentos altamente previsíveis em razão do estímulo do ambiente (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Existem vários métodos para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos, que são complementares à análise de variância individual e conjunta dos dados experimentais resultantes de ensaios realizados em uma série de ambientes (CRUZ, 2001; CRUZ e CARNEIRO, 2003). Esses métodos devem ser empregados quando ocorre interação GxA (VENCovsky e BARRIGA, 1992; CRUZ e REGAZZI, 1997; CRUZ, 2001; CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Esses métodos podem ser dispostos em classes. Aqueles que são embasados em análises de variância informam sobre a estabilidade dos

genótipos avaliados. As estimativas do parâmetro de estabilidade são expressas em componentes quadráticos (quadrados médios ou componentes de variância) que, em certos casos, podem ser de baixa precisão (CRUZ, 2001). Entretanto, esses métodos proporcionam resultados de fácil interpretação e são vantajosos por serem aplicáveis mesmo quando o número de ambientes for relativamente reduzido. Dentre essas metodologias estão os métodos propostos por YATES e COCHRAN (1938) (método tradicional), por PLAISTED e PETERSON (1959), por WRICKE (1965) e por ANNICCHIARICO (1992). Em outra classe, a análise de adaptabilidade e estabilidade é realizada a partir de equações de regressão linear, em que a variável dependente, geralmente a produtividade de grãos ou frutos (ou seus componentes), é expressa em função de um índice ambiental que mede a qualidade dos ambientes avaliados (CRUZ, 2001). Nesta classe estão os métodos propostos por EBERHART e RUSSELL (1966) e TAI (1971). O proposto por LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) enquadra-se na classe de análise com base em estatísticas não-paramétricas. Detalhes em relação às metodologias citadas são apresentados em VENCovsky e BARRIGA (1992), CRUZ e REGAZZI (1997), CRUZ (2001) e CRUZ e CARNEIRO (2003).

O método utilizado deve garantir ao melhorista maior segurança nas indicações de cultivares, e sua escolha, segundo CRUZ e REGAZZI (1997), depende do número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Enfatizam ainda que alguns métodos são alternativos, enquanto outros, complementares, podendo ser utilizados conjuntamente. Segundo VENCovsky e BARRIGA (1992), a diferença entre os métodos sugeridos origina-se nos próprios conceitos de estabilidade e nos procedimentos biométricos para medi-la. Importante é que os métodos forneçam as mesmas informações em termos de indicação de cultivares, ou seja, tenham alto grau de concordância em relação aos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Nesse caso, a escolha do método deve recair naquele de simples execução e fácil interpretação. No entanto, caso haja discordância entre os métodos, a indicação de cultivares passa a depender do método utilizado, havendo necessidade de escolha do método mais eficiente.

Em trabalhos de FARIAS et al. (1997), MAURO et al. (2000), RIBEIRO et al. (2000), ROSSE et al. (2002), MURAKAMI et al. (2004) e SILVA e DUARTE (2006), algumas comparações entre metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade têm sido realizadas. No entanto, pela importância em explorar ao máximo os efeitos benéficos da interação G x A em programas de melhoramento, a comparação de metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade de cultivares

carece de pesquisas adicionais. Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar os métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade, em relação à produtividade de grãos, em ensaios de competição de cultivares de milho (*Zea mays* L.).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados dados de produtividade de grãos de milho, corrigidos a 13% de umidade, de 34 ensaios de competição de cultivares de milho (*Zea mays* L.) de ciclo precoce, realizados no Estado do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas 2002/2003 e 2003/2004.

Os ensaios foram classificados em quatro grupos de experimentos, conforme a categoria (estaduais e indicados) e o ano agrícola (2002/2003 e 2003/2004), ou seja, dez ensaios de 36 cultivares na categoria dos estaduais em 2002/2003; onze ensaios de 40 cultivares na dos estaduais, em 2003/2004; seis ensaios de 27 cultivares na dos indicados em 2002/2003 e sete ensaios de 26 cultivares na dos indicados em 2003/2004. Na categoria dos ensaios estaduais, as cultivares avaliadas foram aquelas ainda não indicadas aos produtores, e as indicadas foram estudadas na categoria dos ensaios indicados.

Em todos os ensaios, as cultivares foram avaliadas no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, e as unidades experimentais constituídas de duas fileiras com 5 m de comprimento, espaçadas em 0,8 m. As semeaduras foram realizadas de forma que se obtenha uma população final de 55.000 plantas ha⁻¹.

Foram realizadas análises de variância para cada um dos 34 ensaios, e a seguir a análise de variância conjunta para cada grupo de experimentos. Depois, procedeu-se às análises de adaptabilidade e estabilidade, seguindo as metodologias de CRUZ e REGAZZI (1997), CRUZ (2001) e CRUZ e CARNEIRO (2003), pelos métodos embasados em análise de variância: propostos por YATES e COCHRAN (1948) - Tradicional - (TR), por PLAISTED e PETERSON (1959) (PP), por WRICKE (1965) (WR), e por ANNICCHIARICO (1992) (AN); em equações de regressão linear: EBERHART e RUSSELL (1966) (ER) e TAI (1971) (TA); e em estatísticas não-paramétricas: método de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) (LB). Assim, foram obtidas para cada cultivar, em cada grupo de experimentos, as estimativas dos parâmetros de estabilidade e/ou adaptabilidade, para indicação de cultivares em ambientes gerais, grupo de ambientes favoráveis e grupo de ambientes desfavoráveis, em relação aos métodos: TR -

parâmetro de estabilidade expresso pela variação de ambientes dentro de cada genótipo (TRQMA/G); PP - parâmetro de estabilidade obtido pela média aritmética dos componentes de variância da interação entre pares de genótipos x ambientes (PPW_i); WR - parâmetro de estabilidade estimado pela decomposição da soma de quadrados de genótipos x ambientes nas partes devidas a genótipos isolados (WRW_i); AN - parâmetros de estabilidade, medido pela superioridade do genótipo em relação a média de cada ambiente, obtendo-se um índice de indicação de cultivares em ambientes gerais (ANW_{ig}), grupo de ambientes favoráveis (ANW_{if}) e grupo de ambientes desfavoráveis (ANW_{id}); ER - média (ERm) e coeficiente de regressão (ERb) como parâmetro de adaptabilidade e coeficiente de determinação (ERR²) como medida de estabilidade; TA - o parâmetro TAb avalia a adaptabilidade e o TAl a estabilidade; e LB estimativas dos parâmetros de estabilidade para indicação de cultivares em ambientes gerais (LBP_{ig}), grupo de ambientes favoráveis (LBP_{if}) e grupo de ambientes desfavoráveis (LBP_{id}).

Para verificar as concordâncias e/ou discordâncias entre as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (TRQMA/G, PPW_i, WRW_i, ANW_{ig}, ANW_{if}, ANW_{id}, ERm, ERb, ERR², TAb, TAl, LBP_{ig}, LBP_{if} e LBP_{id}), em cada grupo de experimentos, obtidas pelos diferentes métodos, foi utilizado o coeficiente de correlação por postos de Spearman, e sua significância foi verificada pelo teste t de Student.

As análises e as estimativas dos parâmetros foram obtidas utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2001) e o aplicativo Office Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre o maior e o menor quadrado médio do erro dos ambientes, em cada grupo de experimento, oscilou entre 2,87 (grupo indicado em 2002/2003) e 6,71 (grupo estadual 2003/2004), revelando variâncias residuais homogêneas, conforme critérios de GOMES (1990), o que possibilita a realização da análise conjunta (Tabela 1).

A análise de variância conjunta, em relação à produtividade de grãos, mostrou haver interação cultivar x ambiente, significativa nos quatro grupos de experimentos, o que revela comportamento diferencial das cultivares nos ambientes, e que a indicação de cultivares, por meio da análise de adaptabilidade e estabilidade é um procedimento adequado (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância conjunta e significância dos quadrados médios (QM) para a produtividade de grãos, em t ha⁻¹, médias, coeficientes de variação experimental (CV) e relação entre o maior e o menor quadrado médio residual entre os ambientes (QMr⁺/QMr⁻) de quatro grupos de experimentos de milho

Causas de variação	Estadual 2002/2003		Estadual 2003/2004		Indicado 2002/2003		Indicado 2003/2004	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos/Ambientes	20	2,1962	22	7,3616	12	3,1753	14	7,0676
Cultivares (C)	35	34,0651**	39	16,3435**	26	14,0536**	25	14,7528**
Ambientes (A)	9	495,3530**	10	579,7236**	5	287,3076**	6	191,2704**
Interação CxA	315	2,4919**	390	1,6686**	130	2,6515**	150	1,8989**
Resíduo	700	0,8436	858	0,9293	312	1,0743	350	0,7235
Média		7,41		7,94		7,80		7,96
CV (%)		12,40		12,14		13,29		10,69
QMr ⁺ /QMr ⁻		4,51		6,71		2,87		6,46

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Ao comparar os postos classificatórios das cultivares, em relação às estimativas dos parâmetros obtidas nos sete métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de milho, nos quatro grupos de experimentos, o coeficiente de correlação de Spearman (r_s) variou de -1,00 a 1,00, o que mostra níveis distintos de concordância na classificação das cultivares (Tabela 2).

Coefficientes de correlação de Spearman igual a 1,00 e -1,00 indicam, respectivamente, total concordância e total discordância dos postos classificatórios entre duas variáveis. No entanto, neste estudo, há necessidade de interpretar esses valores, para cada par de estimativas dos diferentes métodos, pois não necessariamente o valor 1,00 indica que as duas estimativas concordam plenamente, ou seja, fornecem as mesmas informações quanto à indicação de cultivares, e nem o valor -1,00 que discordam plenamente.

De maneira geral, os coeficientes de correlação de Spearman, para cada par de estimativas dos parâmetros, foram similares entre os quatro grupos de experimentos, mostrando as mesmas tendências em relação às concordâncias e/ou discordâncias. Assim, as inferências, de modo geral, podem ser realizadas em nível de média dos quatro grupos (Tabela 2).

Nos métodos embasados em análise de variância, houve total concordância ($r_s = 1,00$) entre as estimativas dos parâmetros de estabilidade obtidas pelo método proposto por PLAISTED e PETERSON (1959) (PPW_i) e por WRICKE (1965) (WRW_i), mostrando que a indicação de cultivares é a mesma independentemente do método. Alta concordância ($r_s = 0,9857$) entre essas estimativas foi constatada em OLIVEIRA (1976) apud CRUZ e REGAZZI (1997) e também por SILVA e DUARTE (2006) ($r_s = 1,00$). No entanto, as estimativas dos parâmetros desses dois métodos, quando comparadas às estimativas dos demais métodos, foram concordantes, somente, com o coeficiente

de determinação (ERR²) do método de EBERHART e RUSSELL (1966) ($r_s = -0,86$) e com o parâmetro de estabilidade do método de TAI (1971) (TA λ) ($r_s = 0,93$), fornecendo as mesmas informações (Tabela 2). Então, deve-se interpretar que, cultivares mais indicadas (menores escores), ou seja, mais estáveis, em relação aos parâmetros PPW_i e WRW_i estão associadas a maiores escores de ERR² (mais estáveis) e menores TA λ (mais estáveis), o que revela concordâncias nas indicações de cultivares quanto a esses parâmetros. A semelhança entre os métodos decorre do fato de que ambos usam a decomposição da soma de quadrados, da interação GxA, na derivação de seus parâmetros de estabilidade (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Na estimativa do parâmetro de estabilidade do método tradicional (TRQMA/G) houve alta concordância com as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade dos métodos com base em regressão linear: EBERHART e RUSSELL (1966) (ERb) ($r_s = 0,95$) e TAI (1971) (TA β) ($r_s = 0,95$). Assim, as cultivares mais indicadas pelo método tradicional (menores escores), ou seja, mais estáveis, seriam aquelas com menores valores de coeficiente de regressão do método de EBERHART e RUSSELL (1966) e TAI (1971). Pela definição dos parâmetros de adaptabilidade, valores de coeficiente de regressão (ERb) menores que um, de modo geral, são indicadas para ambientes desfavoráveis, com valores maiores que um para ambientes favoráveis e aquelas com valores iguais a um são de ampla adaptabilidade. Assim, as cultivares mais indicadas pelo método tradicional, possivelmente, são as mais adaptadas à ambientes desfavoráveis (ERb < 1). Então, pode-se inferir sobre a desvantagem desse método, ou seja, indica genótipos estáveis, porém pouco produtivos ($r_s = 0,40$ entre TRQMA/G e ERm) e não responsivos às melhorias das condições ambientais. Esses resultados concordam com as vantagens e desvantagens do método tradicional (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Spearman, para as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e/ou estabilidade obtidos por sete métodos, quanto à produtividade de grãos, em quatro grupos de experimentos de cultivares de milho

Parâmetro (¹)	Diagonal Superior: grupo estadual 2002/2003. Diagonal Inferior: grupo estadual 2003/2004													
	TRQMA/G	PPW _i	WRW _i	ANW _{ig}	ANW _{if}	ANW _{id}	ERm	ERb	ERR ²	TAb	TAλ	LBP _{ig}	LBP _{if}	LBP _{id}
TRQMA/G		0,21ns	0,21ns	0,48*	0,71*	0,26ns	0,59*	0,98*	0,14ns	0,98*	0,30ns	-0,54*	-0,73*	-0,22ns
PPW _i	0,42*		1,00*	-0,05ns	0,07ns	-0,05ns	0,08ns	0,08ns	-0,89*	0,08ns	0,96*	0,04ns	-0,08ns	0,04ns
WRW _i	0,42*	1,00*		-0,05ns	0,07ns	-0,05ns	0,08ns	0,08ns	-0,89*	0,08ns	0,96*	0,04ns	-0,08ns	0,04ns
ANW _{ig}	0,41*	0,03ns	0,03ns		0,93*	0,94*	0,98*	0,49*	0,28ns	0,49*	-0,05ns	-0,99*	-0,93*	-0,89*
ANW _{if}	0,72*	0,20ns	0,20ns	0,87*		0,78*	0,97*	0,70*	0,22ns	0,70*	0,10ns	-0,95*	-1,00*	-0,72*
ANW _{id}	0,14ns	-0,11ns	-0,11ns	0,93*	0,68*		0,88*	0,26ns	0,22ns	0,26ns	-0,06ns	-0,92*	-0,77*	-0,98*
ERm	0,54*	0,14ns	0,14ns	0,98*	0,94*	0,85*		0,58*	0,18ns	0,58*	0,09ns	-0,98*	-0,96*	-0,84*
ERb	0,98*	0,29ns	0,29ns	0,40*	0,71*	0,14ns	0,53*		0,29ns	1,00*	0,14ns	-0,54*	-0,72*	-0,21ns
ERR ²	0,09ns	-0,71*	-0,71*	0,21ns	0,26ns	0,23ns	0,21ns	0,24ns		0,29ns	-0,89*	-0,29ns	-0,21ns	-0,17ns
TAb	0,98*	0,29ns	0,29ns	0,40*	0,71*	0,14ns	0,53*	1,00*	0,24ns		0,14ns	-0,54*	-0,72*	-0,21ns
TAλ	0,43*	0,83*	0,83*	0,09ns	0,18ns	-0,01ns	0,15ns	0,28ns	-0,80*	0,28ns		0,03ns	-0,11ns	0,04ns
LBP _{ig}	-0,57*	-0,15ns	-0,15ns	-0,96*	-0,95*	-0,83*	-1,00*	-0,55*	-0,23ns	-0,55*	-0,14ns		0,94*	0,88*
LBP _{if}	-0,73*	-0,23ns	-0,23ns	-0,86*	-0,99*	-0,66*	-0,93*	-0,72*	-0,24ns	-0,72*	-0,20ns	0,95*		0,71*
LBP _{id}	-0,13ns	0,14ns	0,14ns	-0,89*	-0,65*	-0,96*	-0,83*	-0,14ns	-0,28ns	-0,14ns	0,08ns	0,81*	0,63*	

Parâmetro (¹)	Diagonal Superior: grupo indicado 2002/2003. Diagonal Inferior: grupo indicado 2003/2004													
	TRQMA/G	PPW _i	WRW _i	ANW _{ig}	ANW _{if}	ANW _{id}	ERm	ERb	ERR ²	TAb	TAλ	LBP _{ig}	LBP _{if}	LBP _{id}
TRQMA/G		0,55*	0,55*	0,03ns	0,37ns	-0,23ns	0,17ns	0,94*	-0,29ns	0,94*	0,55*	-0,08ns	-0,36ns	0,25ns
PPW _i	0,36ns		1,00*	-0,15ns	0,06ns	-0,27ns	0,00ns	0,28ns	-0,94*	0,28ns	0,95*	0,16ns	-0,02ns	0,34ns
WRW _i	0,36ns	1,00*		-0,15ns	0,06ns	-0,27ns	0,00ns	0,28ns	-0,94*	0,28ns	0,95*	0,16ns	-0,02ns	0,34ns
ANW _{ig}	0,21ns	-0,37ns	-0,37ns		0,85*	0,91*	0,97*	0,09ns	0,13ns	0,09ns	-0,14ns	-0,99*	-0,86*	-0,89*
ANW _{if}	0,50*	-0,29ns	-0,29ns	0,93*		0,61*	0,91*	0,43*	0,01ns	0,43*	0,06ns	-0,85*	-1,00*	-0,58*
ANW _{id}	0,05ns	-0,42*	-0,42*	0,98*	0,85*		0,84*	-0,17ns	0,20ns	-0,17ns	-0,27ns	-0,89*	-0,62*	-0,99*
ERm	0,29ns	-0,30ns	-0,30ns	0,99*	0,94*	0,95*		0,20ns	0,02ns	0,20ns	0,00ns	-0,97*	-0,91*	-0,81*
ERb	0,91*	0,01ns	0,01ns	0,37ns	0,65*	0,22ns	0,43*		0,00ns	1,00*	0,30ns	-0,15ns	-0,44*	0,16ns
ERR ²	-0,04ns	-0,90*	-0,90*	0,44*	0,44*	0,46*	0,39	0,29ns		0,00ns	-0,93*	-0,16ns	-0,06ns	-0,27ns
TAb	0,91*	0,01ns	0,01ns	0,37ns	0,65*	0,22ns	0,43*	1,00*	0,29ns		0,30ns	-0,15ns	-0,44*	0,16ns
TAλ	0,37ns	0,97*	0,97*	-0,37ns	-0,27ns	-0,44*	-0,29ns	0,04ns	-0,91*	0,04ns		0,14ns	-0,02	0,33ns
LBP _{ig}	-0,25ns	0,36ns	0,36ns	-0,99*	-0,93*	-0,97*	-0,99*	-0,40*	-0,44*	-0,40*	0,36ns		0,86*	0,88*
LBP _{if}	-0,51*	0,26ns	0,26ns	-0,92*	-1,00*	-0,84*	-0,94*	-0,65*	-0,41*	-0,65*	0,25ns	0,93*		0,60*
LBP _{id}	-0,04ns	0,39ns	0,39ns	-0,95*	-0,81*	-0,97*	-0,93*	-0,18ns	-0,41*	-0,18ns	0,41*	0,95*	0,81*	

Parâmetro (¹)	Média dos quatro grupos de experimentos													
	TRQMA/G	PPW _i	WRW _i	ANW _{ig}	ANW _{if}	ANW _{id}	ERm	ERb	ERR ²	TAb	TAλ	LBP _{ig}	LBP _{if}	LBP _{id}
TRQMA/G	-	0,38	0,38	0,28	0,57	0,06	0,40	0,95	-0,03	0,95	0,41	-0,36	-0,58	-0,04
PPW _i	-	-	1,00	-0,14	0,01	-0,21	-0,02	0,16	-0,86	0,16	0,93	0,10	-0,02	0,22
WRW _i	-	-	-	-0,14	0,01	-0,21	-0,02	0,16	-0,86	0,16	0,93	0,10	-0,02	0,22
ANW _{ig}	-	-	-	-	0,90	0,94	0,98	0,34	0,27	0,34	-0,12	-0,98	-0,89	-0,91
ANW _{if}	-	-	-	-	-	0,73	0,94	0,62	0,23	0,62	0,02	-0,92	-1,00	-0,69
ANW _{id}	-	-	-	-	-	-	0,88	0,11	0,27	0,11	-0,19	-0,90	-0,73	-0,98
ERm	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,20	0,43	-0,02	-0,98	-0,94	-0,85
ERb	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	1,00	0,19	-0,41	-0,63	-0,09
ERR ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	-0,88	-0,28	-0,23	-0,28
TAb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	-0,41	-0,63	-0,09
TAλ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-0,02	0,22
LBP _{ig}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,92	0,88
LBP _{if}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69

(¹) TRQMA/G: estabilidade do método tradicional; PPW_i: estabilidade do método proposto por Plaisted e Peterson (1959); WRW_i: estabilidade do método proposto por Wricke (1965); ANW_{ig}, ANW_{if} e ANW_{id}: estabilidade em ambientes gerais, grupo de ambientes favoráveis e grupo de ambientes desfavoráveis, respectivamente, conforme metodologia proposta por Annicchiarico (1992); ERm, ERb e ERR²: adaptabilidade e estabilidade do método de Eberhart e Russell (1966); TAb e TAλ: adaptabilidade e estabilidade do método de Tai (1971); LBP_{ig}, LBP_{if} e LBP_{id}: estabilidade em ambientes gerais, grupo de ambientes favoráveis e grupo de ambientes desfavoráveis, respectivamente, conforme método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998).

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t com 34, 38, 25 e 24 graus de liberdade, respectivamente, para os grupos de experimentos estaduais 2002/2003, estaduais 2003/2004, indicados 2002/2003 e indicados 2003/2004. ns: Não-significativo.

As estimativas de estabilidade do método proposto por ANNICCHIARICO (1992) para os ambientes gerais (ANW_{ig}), favoráveis (ANW_{if}) e desfavoráveis (ANW_{id}), revelaram correlação de Spearman positiva e de alta magnitude com a média (ERm) (ANW_{ig} vs ERm = 0,98, ANW_{if} vs ERm = 0,94, e ANW_{id} vs ERm = 0,88) e positiva, mas de magnitude menor com as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade de EBERHART e RUSSELL (1966) (ERb) e TAI (1971) (TAb), principalmente em relação aos ambientes favoráveis (ANW_{if} vs ERb = 0,62 e ANW_{if} vs TAb = 0,62). Por esses resultados, observa-se que as cultivares mais indicadas pelo método proposto por ANNICCHIARICO (1992) são as mais produtivas e associadas, apesar de magnitude inferior, a maiores valores de coeficiente de regressão (ERb e TAb), ou seja, cultivares mais adaptadas à ambientes favoráveis.

As estatísticas ANW_{ig} , ANW_{if} e ANW_{id} apresentaram correlações de Spearman negativas, e de alta magnitude ($r_s \leq -0,69$) com as estimativas de estabilidade do método de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) para os ambientes gerais (LB_{ig}), favoráveis (LB_{if}) e desfavoráveis (LB_{id}). Esses resultados demonstram concordâncias entre esses métodos, ou seja, as cultivares mais indicadas (maiores escores) pelo método de ANNICCHIARICO (1992) seriam as mais indicadas (menores escores) pelo método de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998). Esses resultados se assemelham ao encontrado por SILVA e DUARTE (2006) e podem, provavelmente, serem explicados pela expressão que estima os índices de estabilidade LB_{ig} , LB_{if} e LB_{id} , cujo valor é o desvio da cultivar *i* em relação ao material de desempenho máximo (maior produtividade) em cada ambiente. Assim, maior estabilidade estará obrigatoriamente associada a maior produtividade (LIN e BINNS, 1988). Esses resultados confirmam que as cultivares mais indicadas pelos métodos propostos por LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) e por ANNICCHIARICO (1992) estão associadas às cultivares mais produtivas.

Assim, de maneira geral, apesar das facilidades na interpretação do parâmetro de estabilidade obtido pelos método Tradicional, este deve ser visto com cautela, por indicar cultivares, apesar de estáveis, pouco produtivas e adaptadas a ambientes desfavoráveis.

Em relação aos métodos EBERHART e RUSSELL (1966) e TAI (1971), os valores de $r_s = 1,00$ e $r_s = -0,88$, entre as estimativas dos parâmetros ERb x TAb e ERR^2 x TAl , respectivamente, revelam alta concordância nas indicações de cultivares, obtidas por esses métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade com base em regressão linear. Resultados esperados e,

provavelmente, explicados pela semelhança na estimação de seus parâmetros (CRUZ e REGAZZI, 1997). No entanto, o método de EBERHART e RUSSELL (1966), por considerar, também, a média de produtividade, na indicação de cultivares, torna-o, possivelmente, mais vantajoso.

Houve correlações negativas entre a média de produtividade de grãos das cultivares (ERm) e a estimativa dos parâmetros de estabilidade em ambientes gerais (ERm vs $LBP_{ig} = -0,98$) favoráveis (ERm vs $LBP_{if} = -0,94$) e desfavoráveis (ERm vs $LBP_{id} = -0,85$) do método de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) (Tabela 2). Isso é esperado, pois esses índices de estabilidade são estimados através dos desvios em relação à maior produtividade. Assim, os menores desvios (cultivares mais indicadas) estarão associados as maiores produtividades. Portanto, as cultivares mais indicadas pelo método de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) estarão associadas à maior produtividade. No entanto, a correlação ($r_s = 0,43$) entre a média (ERm) versus ERb e TAb e a correlação positiva, mas de menor magnitude, entre ERm e TRQMA/G ($r_s = 0,40$), reforçam a afirmativa de que cultivares mais produtivas estão associadas à baixa previsibilidade de comportamento (mais instáveis). Assim, pode-se inferir que cultivares indicadas pelo método de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) estão associadas à alta produtividade, porém instáveis.

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade (ERb e TAb) foram discordantes em relação a LBP_{ig} e LBP_{if} , ou seja, maiores escores de ERb e TAb estão associados a menores valores de LBP_{ig} ($r_s = -0,41$) e LBP_{if} ($r_s = -0,63$). Assim, pode-se inferir que cultivares com os menores índices de LBP_{ig} , LBP_{if} (mais indicadas) estão associadas à maior produtividade e responsivas a ambientes favoráveis, porém com baixa estabilidade. Essas indicações são contrárias às obtidas pelo método tradicional e semelhante àquelas conseguidas pela metodologia proposta por ANNICCHIARICO (1992).

Em outros dois métodos embasados em análise de variância (PLAISTED e PETERSON (1959) e WRICKE (1965)), não houve associação com a metodologia não paramétrica de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) e com o método de ANNICCHIARICO (1992). No entanto, as cultivares mais indicadas são aquelas com menores escores de PPW_i e WRW_i e estão associadas a maiores valores de ERR^2 e menores de TAl , o que revela concordância desses parâmetros. Portanto, por esses dois métodos, as mais estáveis são indicadas independentemente da produtividade média e de ser responsiva a ambientes favoráveis e desfavoráveis.

A estimativa dos parâmetros do método de EBERHART e RUSSELL (1966), de certa forma, mostrou concordância com os demais métodos, englobando as particularidades de cada um. Assim, cultivares menos produtivas seriam as mais indicadas pelo método tradicional, enquanto as mais produtivas seriam as mais indicadas pelos métodos de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) e de ANNICCHIARICO (1992). Já as indicadas pelos métodos de PLAISTED e PETERSON (1959) e WRICKE (1965), não revelaram associação com a média de produtividade (PPW_i vs $ERM = -0,02$ e WRW_i vs $ERM = -0,02$) (Tabela 2).

Também, cultivares com maiores escores de ERb (adaptabilidade a ambientes favoráveis), seriam as menos indicadas pelo método Tradicional, principalmente em relação a ambientes favoráveis. No entanto, seriam as mais indicadas pelos métodos de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) e de ANNICCHIARICO (1992). Já nas indicadas pelos métodos de PLAISTED e PETERSON (1959) e WRICKE (1965) não ocorreu associação com o parâmetro de adaptabilidade de EBERHART e RUSSELL (1966) (PPW_i vs ERb = 0,16 e WRW_i vs ERb = 0,16) (Tabela 2).

Cultivares com maiores valores de ERR^2 seriam as mais indicadas pelos métodos de PLAISTED e PETERSON (1959) e WRICKE (1965) e as indicadas pelos métodos Tradicional, ANNICCHIARICO (1992) e LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) não revelaram associação com parâmetro de estabilidade de EBERHART e RUSSELL (1966).

Assim, pode-se inferir que, de maneira geral, o método tradicional, indica cultivares de maior estabilidade, porém associadas à menor produtividade e mais indicadas a ambientes desfavoráveis. Já os métodos de PLAISTED e PETERSON (1959) e WRICKE (1965) indicam cultivares estáveis, e independem da produtividade média e da resposta às variações das condições ambientais (adaptabilidade). Dessa forma, métodos embasados em análise de variância são pouco eficientes. Por outro lado, aquele com base em estatística não paramétrica (LIN e BINNS, 1988, modificado por CARNEIRO, 1998) e o método de ANNICCHIARICO (1992) indicam cultivares com maior produtividade associadas à alta instabilidade e responsivas a ambientes favoráveis. O que parece ser uma vantagem em relação aos três métodos anteriores, embasados em análise de variância. Em uma situação intermediária, o método com base em regressão (EBERHART e RUSSELL, 1966) parece ser o mais indicado, devendo ser o preferido, pois considera a produtividade, a adaptabilidade e a estabilidade de cada cultivar.

Do ponto de vista do melhorista, o processamento dos dados por diversos métodos de análise de

adaptabilidade e estabilidade, e a consideração das particularidades de cada um, são adequados para melhor tomada de decisão em relação à indicação de cultivares. Diante dos resultados, de maneira geral, métodos embasados em regressão linear parecem ser mais informativos, quando comparados a métodos de estatística não paramétrica e análise de variância, nesta ordem. No entanto, há necessidade de comparações adicionais antes dessas considerações serem generalizadas e ainda comparações com metodologias baseadas em regressão linear bissegmentada, modelos não lineares e análise AMMI (Additive Main effects e Multiplicative Interaction analysis).

4. CONCLUSÕES

1. A indicação de cultivares de milho, em relação à produtividade de grãos, depende do método de análise de adaptabilidade e estabilidade empregado.

2. Cultivares indicadas pelos métodos de PLAISTED e PETERSON (1959) e WRICKE (1965), com base em análise de variância, estão associadas à maior estabilidade, porém independem da produtividade média e da adaptabilidade a ambientes gerais, favoráveis e desfavoráveis.

3. Cultivares indicadas pelo método tradicional, embasado em análise de variância, estão associadas à maior estabilidade, menor produtividade e mais indicadas a ambientes desfavoráveis.

4. Cultivares com alta produtividade e associadas à alta instabilidade e adaptada a ambientes favoráveis são as mais indicadas pelo método de LIN e BINNS (1988) modificado por CARNEIRO (1998) e ANNICCHIARICO (1992).

5. Entre os métodos estudados, o preferido deve ser o de EBERHART e RUSSELL (1966), por considerar simultaneamente a produtividade, a estabilidade e a adaptabilidade a ambientes gerais, favoráveis e desfavoráveis.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores que auxiliaram na realização dos experimentos, pela cessão dos dados. À FAPESP pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. *Journal of Genetics & Breeding*, Madison, v.46, p.269-278, 1992.

- CRUZ, C.D. **PROGRAMA GENES**: versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. v.2.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, p.36-40, 1966.
- FARIAS, F.J.C.; RAMALHO, M.A.P.; CARVALHO, L.P.; MOREIRA, J.A.N.; COSTA, J.N. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) comparados com o método da regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, 1997.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1990. 467p.
- 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, p.193-198, 1988.
- MAURO, A.O.D.; CURCIOLI, V.B.; NÓBREGA, J.C.M.; BANZATO, D.A.; SEDIYAMA, T. Correlação entre medidas paramétricas e não-paramétricas de estabilidade em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.687-696, 2000.
- MURAKAMI, D.M.; CARDOSO, A.A.; CRUZ, C.D.; BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.71-78, 2004.
- PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, Orono, v.36, p.381-385, 1959.
- RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326 p.
- RIBEIRO, P.H.E.; RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2213-2222, 2000.
- ROSSE, L.N.; VENCOVSKY, R.; FERREIRA, D.F. Comparação de métodos de regressão para avaliar a estabilidade fenotípica em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.25-32, 2002.
- SILVA, W.C.J.; DUARTE, J.B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.23-30, 2006.
- STEEL, R. G.D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics**. 3rd ed. New York: McGraw Hill Book, 1997. 666p.
- TAI, G.C.C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, Madison, v.11, p.184-190, 1971.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- WRICKE, G. Zur Berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung**, Berlin, v.52, p.127-138, 1965.
- YATES, F.; COCHRAN, W.G. The analysis of group of experiments. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v.28, p.556-580, 1938.