

METODOLOGIAS UNIVARIADAS E MULTIVARIADA PARA ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE VISANDO À INDICAÇÃO DE CULTIVARES DE MILHO¹

Edilson Romais Schmildt²
Willian Krause³

RESUMO

Este trabalho objetivou analisar metodologia multivariada para análise de adaptabilidade e estabilidade usando o menor número de parâmetros e que possuam outros fatores de indicação além da produtividade, comparando-a com metodologias univariadas. Foi avaliada a produtividade de 33 cultivares de milho em seis ambientes, determinando-se a adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russell e do trapézio quadrático ponderado pelo CV, proposto por Carneiro. Utilizou-se o método do trapézio quadrático ponderado pelo CV multivariado para as características produtividade, altura de plantas e de inserção da primeira espiga. Percebeu-se a impropriedade do método de Eberhart e Russell, por não indicar o cultivar XHT 20 para ambientes favoráveis, mesmo sendo o primeiro colocado em produtividade. O método trapézio quadrático ponderado pelo CV multivariado elegeu o cultivar XHT 20 como de adaptabilidade ampla, concluindo-se que este método é mais confiável do que o de Eberhart e Russell para indicação de cultivares, além de possuir maior facilidade de interpretação dos resultados pela unicidade dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, sem desconsiderar a média e permitir a indicação dos cultivares usando mais de um caráter de importância econômica.

Palavras-chave: *Zea mays*, melhoramento de população, análise estatística, performance genotípica, interação genótipo x ambiente.

¹ Aceito para publicação em 21.01.2003.

² Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), Cx. P. 16, 29500-000 Alegre, ES. edilson@npd.ufes.br

³ Bolsista de iniciação científica do CNPq. Estudante de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES), Cx. P. 16, 29500-000 Alegre, Es. wilkra@bol.com.br

ABSTRACT

EVALUATION OF UNIVARIATED AND MULTIVARIATED METHODOLOGIES OF ADAPTABILITY AND STABILITY FOR INDICATION OF MAIZE CULTIVARS

This work aimed to analyze a multivariate methodology of adaptability and stability using the smallest number of parameters and possessing other indication factors besides productivity, comparing it with univariate methodologies. The productivity of 33 maize cultivars was evaluated in six environments, determining their adaptability and stability by the methods of Eberhart and Russell and the CV-weighted quadratic trapeze method, as proposed by Carneiro. The multivariate CV-weighted quadratic trapeze method was used for the characteristics productivity, plant height and spike insertion. The Eberhart and Russell's method was found inappropriate since it does not indicate the XHT 20 cultivar for favorable environments, even though this cultivar ranked first in productivity. The multivariate CV-weighted quadratic trapeze method selected the XHT 20 cultivar as of ample adaptability. Thus, it was concluded that this method is more reliable than the Eberhart and Russell's method, besides showing a greater easiness of interpretation of the results due to the uniformity of the adaptability and stability parameters, without disregarding the average and allowing the indication of cultivars using more than one character of economic importance.

Key word: *Zea mays*, population improvement, statistical analysis, genotypic performance, genotype x environment interaction.

INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) ocupa posição de destaque no âmbito internacional e nacional, especialmente no Estado do Espírito Santo, tanto no aspecto econômico como no social. Estima-se que, no Estado, 40.000 produtores trabalham com esta cultura, numa área de cerca de 110.000 hectares (1).

Por causa da dinâmica dos programas de melhoramento de milho no Brasil, tanto das empresas públicas como privadas, a cada ano são colocados no mercado dezenas de cultivares. O milho é cultivado em uma diversidade grande de ambientes, que podem ocorrer em razão da variação de locais, das épocas de semeadura, dos níveis de adubação, das questões sociais, técnicas e econômicas, entre outras.

Os cultivares de milho comercializados nas diversas regiões do País nem sempre são selecionados para essas regiões, e a posição relativa desses cultivares, com base na produtividade, pode ser alterada de um ambiente para outro. Esta inconsistência de comportamento, diante das variações ambientais, é denominada interação genótipos x ambientes. Segundo Allard (1), a maioria dos caracteres quantitativos, como a produtividade, é de natureza poligênica e muito influenciada pelo ambiente.

Sabendo-se que a interação genótipos x ambientes reduz a correlação entre genótipo e fenótipo, dificultando a obtenção de inferências válidas (5), o trabalho de melhoramento de uma empresa, pública ou privada, que tem por finalidade a produção de sementes, não se completa com a obtenção dos cultivares de interesse. Há necessidade, também, de ensaios de competição dos cultivares em vias de lançamento. Essas avaliações permitem averiguar a presença de interação cultivares x ambientes por meio de testes estatísticos (8). A interação pode ser amenizada por análises apropriadas de adaptabilidade e estabilidade, em que os cultivares podem ser identificados e indicados, preferencialmente com ampla adaptabilidade e boa estabilidade.

Nesse tipo de avaliação, torna-se muito importante o uso de metodologias apropriadas de análise de adaptabilidade e estabilidade, e, segundo Cruz e Regazzi (8), dessa maneira é possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, em condições específicas (ambientes considerados favoráveis ou desfavoráveis) ou amplas.

O método de análise de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (10), baseado na análise de regressão linear simples, tem sido um dos mais usados. No entanto, o uso de metodologias não-paramétricas (14, 15) vem apresentando uso crescente nos últimos anos, por apresentar algumas vantagens sobre as metodologias paramétricas, a saber (14): reduz a tendenciosidade causada por pontos completamente fora da equação de regressão ajustada; não é necessário assumir hipóteses sobre a distribuição dos valores fenotípicos; os parâmetros de estabilidade com base nas classificações são de fácil uso e interpretação; as adições ou retiradas de um ou poucos cultivares não causam grandes variações nas estimativas; e as classificações dos genótipos para seleção no melhoramento são informações essenciais.

Carneiro (4) acrescenta a possibilidade do uso de metodologia de Lin e Binns (15) para análise multivariada. Considerando a tendência atual de uso de método de adaptabilidade e estabilidade com menor número de parâmetros e de fácil interpretação (14), e ainda usando mais de uma variável, o método proposto por Carneiro (4), chamado de Trapézio Quadrático Ponderado pelo CV multivariado (TQPCVM), possui ampla possibilidade de uso. Este método multivariado propicia indicação de cultivares de maneira mais segura. Espera-se que cultivares com maior altura de plantas e inserção da espiga sejam mais sensíveis aos veranicos. Dessa forma, a indicação de cultivares com base em dados de maior produtividade, e simultaneamente também da altura de espiga e da planta mais reduzida, seriam ideais, principalmente em regiões sujeitas a veranicos, como é o norte do Espírito Santo.

Considerando a extrema importância da cultura do milho no Estado do Espírito Santo, com seu cultivo por produtores tecnificados e não-tecnificados, aliado a imensos riscos que oferece o seu cultivo, objetiva-se, neste trabalho, analisar métodos que permitam a indicação mais segura de cultivares pela adaptabilidade e estabilidade, usando o menor número de parâmetros de interpretação e que possuam outros fatores de indicação além da produtividade.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados neste trabalho dados obtidos no Espírito Santo pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), e em Minas Gerais pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), referentes a ensaios regionais de competição de milho precoce, safra agrícola 1996/97. Os dados originais referem-se à produção de grãos, em kg/parcela.

Foram analisados 33 cultivares em blocos ao acaso com três repetições, em seis ensaios, instalados em quatro locais, alguns em épocas diferentes, caracterizando seis ambientes (Quadro 1).

Os cultivares usados foram AGX 5273, AGROMEN 2012, XL 360, ZEN 84 E 90, P 3071, AL 25, AGX 9674, AG 9014, DENSUS, ZEN 8392, C 806, AG 5014, MASTER, AGX 5482, XL 345, CO 32, AGROMEN 3000, AG 3010, CO 34, XHT 12, XL 221, ZEN 84 E 74, AG 5011, M 9560, ZEN 8300, EXCELER, P 3041, DINA 657, XHT 20, DINA 766, BR 3123, DINA 769 e C 909.

Os dados de produção em cada parcela foram padronizados para unidade constante de 15,5%, base úmida, conforme Ávila e Sánches (3).

QUADRO 1 – Ambientes avaliados e época de plantio do milho

	Ambiente	Estado	Época de Plantio
1	Sooretama I	Espírito Santo	Outubro de 1996
2	Cachoeiro I	Espírito Santo	Outubro de 1996
3	Sooretama II	Espírito Santo	Março de 1997
4	Linhares II	Espírito Santo	Março de 1997
5	Coimbra I	Minas Gerais	Outubro de 1996
6	Coimbra I*	Minas Gerais	Outubro de 1996

*A aplicação de inseticidas do desbaste ao florescimento masculino, no ensaio 6, distingue-o do 5, sem qualquer aplicação de inseticida.

Os métodos de avaliação de adaptabilidade e estabilidade usados neste trabalho foram o método univariado segundo Eberhart e Russell (10) e o método do trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação residual univariado (TQPCV) e multivariado (TQPCVM), segundo Carneiro (4).

Em relação ao método multivariado, foram usados, além dos dados de produtividade (kg/ha), dados referentes à altura de plantas (cm) e altura de inserção da primeira espiga na planta (cm).

Método de Eberhart e Russell

Neste método, os parâmetros que expressam a estabilidade e a adaptabilidade são a média, a resposta linear à variação ambiental e o desvio da regressão de cada genótipo, obtidos a partir do seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}.$$

em que

Y_{ij} = valor observado do genótipo i no ambiente j ;

β_{0i} = média geral do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, g$);

β_{1i} = resposta linear do genótipo i à variação ambiental;

I_j = índice ambiental ($j = 1, 2, \dots, a$), sendo

$$I_j = \frac{Y_j}{g} - \frac{Y_{..}}{ga}$$

δ_{ij} = desvio da regressão; e

$\bar{\epsilon}_{ij}$ = erro experimental médio.

Na metodologia proposta por Eberhart e Russell (10), é realizada uma análise de regressão dos valores da produção dos cultivares em função dos índices ambientais.

Os parâmetros considerados na avaliação individual dos cultivares são a produtividade média (β_{0i}), o coeficiente de regressão linear (β_{1i}) e o desvio da regressão (σ_{di}^2).

Por esta metodologia, portanto, para indicação, um cultivar deve apresentar elevado β_{0i} , ter alta previsibilidade de comportamento ante os estímulos ambientais, ou seja, possuir $\sigma_{di}^2 = 0$, e o seu direcionamento de resposta ao tipo de ambiente medido pelo critério de adaptabilidade. Este critério refere-se à capacidade de os cultivares aproveitarem vantajosamente o estímulo ambiental. Assim, os cultivares podem ser: de adaptabilidade geral ou ampla, nos casos em que $\beta_{1i} = 1$; de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, no caso de apresentar $\beta_{1i} > 1$; e de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, no caso de apresentar $\beta_{1i} < 1$. Cruz e Regazzi (8) sugerem o uso do coeficiente de determinação

(R_i^2) como medida auxiliar de avaliação dos cultivares, para os casos em que eles apresentem média elevada e, no entanto, possuam desvio da regressão significativo.

A hipótese $H_{01} : \beta_{1i} = 1$ versus $H_a : \beta_{1i} \neq 1$ é avaliada pela estatística t,

$$\text{dada por: } t = \frac{\hat{\beta}_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_{1i})}}$$

associada a $a(r-1)(g-1)$ graus de liberdade.

A hipótese $H_{02} : \sigma_{di}^2 = 0$, para cada cultivar, é avaliada pela estatística F dada por: $F = \text{QMD}_i / \text{QMR}$, associada a $a-2$ e $a(g-1)(r-1)$ graus de liberdade e um nível de significância α .

As determinações pelo método de Eberhart e Russell (10) foram feitas usando-se o programa GENES (7).

Método do Trapézio Quadrático Ponderado pelo CV Univariado (TQPCV) e Multivariado (TQPCVM)

A análise multivariada de adaptabilidade e estabilidade é importante quando não apenas uma característica determina o objetivo final do melhoramento. Neste trabalho, esta proposta foi aplicada para os caracteres produtividade de grãos, alturas de planta e de inserção da primeira espiga. Os valores alturas de planta e de inserção da primeira espiga foram fixados, e o ideal está em torno de 2 e 1 m (2). O método das diferenças de áreas de trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação (TQPCV) foi usado neste trabalho para a estimação da estatística MAEC (medida de adaptabilidade e estabilidade de cultivares), segundo Carneiro (4), para dados de produtividade, e na análise multivariada (TQPCVM) para dados de produtividade, altura de plantas e altura de inserção da primeira espiga.

O método do trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação residual (TQPCV) foi considerado o mais eficiente dentre os seis métodos univariados propostos por Carneiro (4), usando o princípio básico do método de Lin e Binns (15). A expressão para este método é dada a seguir:

$$P_i = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{Y_{g(j+1)} + Y_{gj}}{2} \right) - \left(\frac{Y_{i(j+1)} + Y_{ij}}{2} \right) \right]^2 (\bar{Y}_{(j+1)} - \bar{Y}_j) f_j$$

em que

P_i = parâmetro denominado MAEC (medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento);

n = número de ambientes;

$Y_{g(j+1)}$ = rendimento médio do cultivar ideal no ambiente $j+1$;

Y_{gj} = rendimento médio do cultivar ideal no ambiente j ;

$Y_{i(j+1)}$ = rendimento médio do cultivar i no ambiente $j+1$;

Y_{ij} = rendimento médio do cultivar i no ambiente j ;

$\bar{Y}_{(j+1)}$ = rendimento médio de todos os cultivares no ambiente $j+1$;

\bar{Y}_j = rendimento médio de todos os cultivares no ambiente j ; e

f_j = ponderação pelo CV, em que $f_j = [f_{(j+1)} + f_j] / 2$ e, ainda, $f_{(j+1)} = CV_{(j+1)} / CVT$ e $f_j = CV_j / CVT$, sendo $CV_{(j+1)}$, CV_j e CVT os coeficientes de variação residual dos ambientes $j+1$, j e total dos ambientes, respectivamente.

O rendimento médio do cultivar ideal no j -ésimo ambiente (Y_{gj}) é obtido da seguinte maneira, com base no modelo de Cruz et al. (9):

$$Y_{gj} = \beta_{0g} + \beta_{1g}I_j + \beta_{2g}T(I_j)$$

em que

Y_{gj} = resposta ideal do cultivar hipotético no ambiente j ;

β_{0g} = valor fornecido para que a resposta ideal seja máxima em todos os ambientes, ou seja, o valor máximo de produção em todo o experimento;

β_{1g} e β_{2g} = valores estabelecidos em 0,5 e 1,0, respectivamente, de forma a refletir baixa resposta aos ambientes desfavoráveis ($\beta_{1g} = 0,5$) e responsivos às condições favoráveis ($\beta_{1g} + \beta_{2g} = 1,5$). Estes coeficientes foram estabelecidos com valor $\beta_{1g} = 0,0$ e $\beta_{2g} = 0,0$ no caso dos dados de altura de plantas e altura de inserção de espigas, quando usados na análise multivariada; e

I_j e $T(I_j)$ foram definidos, conforme metodologia proposta por Cruz et al. (9).

O primeiro termo da expressão do P_i , elevado ao quadrado, tem propriedade de variância. Considerando ainda este primeiro termo, observa-se que a diferença entre as médias de produção dos ambientes $j+1$ e j , no cultivar ideal e no cultivar i , fornece a base média da diferença entre esses dois cultivares, de maneira que quanto mais produtivo for o cultivar, nos vários ambientes, menor será o valor desta diferença, o que contribuirá para o menor P_i e, portanto, para a maior estabilidade de comportamento.

O segundo termo da equação indica a altura do trapézio (4). De acordo com Carneiro (4), esta contempla a discriminação de cultivares entre ambientes cujos índices ambientais sejam próximos entre si (menos discriminantes) e mais distantes entre si (mais discriminantes), fornecendo, assim, uma medida mais confiável para a adaptabilidade e estabilidade de comportamento.

Essa estatística do P_i tem grande aceitação pelos melhoristas, pois leva em consideração o conceito mais recente de adaptabilidade, segundo Verma et al. (20), no qual o cultivar ideal apresenta baixa resposta em ambientes desfavoráveis ($\beta_1 < 1$) e é responsivo em condições favoráveis ($\beta_1 + \beta_2 > 1$). Este conceito foi, portanto, incorporado na metodologia quando se definiu o cultivar ideal, conforme Cruz et al. (9).

Quanto à análise multivariada (TQPCVM), tem-se, segundo Carneiro (4):

$$P_{mi} = \sum_{k=1}^v \left[P_{ik} \frac{1}{\hat{\sigma}_{pk}} \right]$$

em que

$K = 1, 2, \dots, v$ variáveis

P_{mi} : estimador do parâmetro MAEC – multivariado para o cultivar i ;

P_{ik} : estimador do parâmetro MAEC – univariado para o cultivar i referente a k -ésima variável; e

$\hat{\sigma}_{pk}$: desvio-padrão dos P_i s para a k -ésima variável.

O fator de multiplicação dado pelo inverso dos pesos atribuídos a cada variável é incluído na expressão matemática mostrada anteriormente, conforme se segue:

$$P_{mi} = \sum_{k=1}^v \left[P_{ik} \frac{1}{\hat{\sigma}_{pk}} \right] \cdot \frac{1}{p_k}$$

em que p_k representa os pesos atribuídos, pelo pesquisador, a cada variável. Neste trabalho usaram-se os pesos sugeridos por Carneiro (4): 2 para produtividade, 1 para altura de plantas e 1 para altura de inserção de espigas.

Os cálculos foram feitos usando o programa GENES (7), que fornece os valores de P_i e P_{mi} para cada genótipo analisado, considerando-se, simultaneamente, todos os ambientes (P_{ig} e P_{mig}) e também os ambientes favoráveis (P_{if} e P_{mif}) e desfavoráveis (P_{id} e P_{mid}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Método de Eberhart e Russell

No Quadro 2 estão apresentadas as estimativas das médias, dos coeficientes de regressão (β_{li}), desvios da regressão (σ_{di}^2) e dos

coeficientes de determinação (R_i^2) dos dados de produtividade de 33 cultivares de milho avaliados em seis ambientes. Nota-se que os cultivares AL 25, DENSUS, C 806 e XHT 20 apresentaram $\beta_{1i} < 1$. Entretanto, somente o cultivar XHT 20 apresentou média de produtividade (7.819 kg/ha) superior à média geral (6.351 kg/ha), sendo de adaptação específica às condições desfavoráveis.

Em ambiente favoráveis, os cultivares AGROMEN 3000 e EXCELER poderiam ser indicados com base no $\beta_{1i} > 1$, no entanto, não são recomendados devido as suas médias não serem maiores que a média geral.

Dentre os cultivares que apresentaram $\beta_{1i} = 1$, ou seja, de adaptabilidade geral, e com médias superiores à média geral, tem-se os cultivares XL 360, P 3071, ZEN 8392, MASTER, AGX 5482, XL 345, CO32, CO34, XHT 12, M 9560, ZEN 8300, P 3041, DINA 657, DINA 766 e BR 3123. Dentre esses cultivares, a indicação mais adequada é para os mais produtivos e com $\sigma_{di}^2 = 0$: P 3041 (7.409 kg/ha), DINA 766 (6.923 kg/ha), CO32 (6.871 kg/ha), AGX 5482 (6.816 kg/ha) e MASTER (6.778 kg/ha). O cultivar DINA 657, apesar de ser o terceiro mais produtivo, não é recomendado, por apresentar $\sigma_{di}^2 \neq 0$ e R_i^2 baixo ($R_i^2 = 32\%$). Os cultivares P 3071, ZEN 8392, ZEN 8300 e BR 3123 também não são indicados, por apresentarem $\sigma_{di}^2 \neq 0$.

Na Figura 1 estão as retas de regressão ajustadas dos seis cultivares indicados pelo método de Eberhart e Russell (10), em ambientes desfavoráveis (XHT 20) e de adaptação ampla (MASTER, AGX 5482, CO32, P 3041 e DINA 766). Apesar da ampla utilização deste método (13, 17, 19, 21) pode-se perceber a sua impropriedade para indicação correta dos cultivares. Nesta figura, percebe-se que o cultivar XHT 20 teve médias de produtividade ajustadas maiores que a dos cultivares MASTER, CO 32, AGX 5482 e DINA 766 em todos os ambientes, e em três foi maior que o cultivar P 3041, sendo estes cultivares de adaptabilidade ampla. Dessa forma, espera-se que o cultivar XHT 20 também deva ser indicado como de adaptabilidade ampla.

QUADRO 2 – Estimativas das médias de produtividade de grãos, dos coeficientes de regressão, dos desvios da regressão e dos coeficientes de determinação, dos cultivares de milho avaliados segundo o método de Eberhart e Russell (10)

Cultivar	Média geral	$\hat{\beta}_{ii}$	$\hat{\sigma}_{di}^2$	R_i^2 (%)
AGX 5273	6.010 (26) ^{IV}	0,80 ns	182.997 ns	57
AGROMEN 2012	6.074 (25)	0,85 ns	158.537 ns	62
XL 360	6.691 (11)	1,05 ns	209.210 ns	68
ZEN 84 E 90	5.501 (31)	0,77 ns	1.479.669 "	22
P 3071	6.695 (9)	0,89 ns	387.964 '	52
AL 25	5.774 (29)	0,34 **	406.602 '	13
AGX 9674	6.095 (24)	1,24 ns	86.974 ns	81
AG 9014	5.410 (32)	1,07 ns	746.642 "	49
DENSUS	4.654 (33)	0,06 **	233.714 ns	01
ZEN 8392	6.740 (8)	1,16 ns	763.507 "	53
C 806	6.189 (21)	0,03 **	313.204 '	00
AG 5014	5.840 (28)	1,13 ns	33.173 ns	81
MASTER	6.778 (7)	1,15 ns	-18.874 ns	85
AGX 5482	6.816 (6)	1,18 ns	-12.513 ns	86
XL 345	6.453 (17)	1,43 ns	-131.868 ns	96
CO 32	6.871 (5)	0,81 ns	-138.315 ns	90
AGROMEN 3000	6.238 (18)	1,66 **	-46.841 ns	94
AG 3010	5.528 (30)	0,78 ns	148.996 ns	58
CO 34	6.493 (15)	1,27 ns	152.801 ns	78
XHT 12	6.645 (12)	0,81 ns	167.272 ns	59
XL 221	6.234 (20)	1,06 ns	-132.483 ns	93
ZEN 84 E 74	6.531 (13)	1,23 ns	658.626 "	58
AG 5011	6.134 (23)	1,37 ns	584.294 '	65
M 9560	6.475 (16)	1,47 ns	-171.526 ns	98
ZEN 8300	6.694 (10)	1,07 ns	637.100 "	52
EXCELER	6.188 (22)	1,69 **	-104.142 ns	96
P 3041	7.409 (2)	1,46 ns	275.138 ns	78
DINA 657	7.008 (3)	0,69 ns	621.215 "	32
XHT 20	7.819 (1)	0,44 *	23.297 ns	41
DINA 766	6.923 (4)	0,94 ns	120.633 ns	69
BR 3123	6.510 (14)	1,07 ns	120.365 "	40
DINA 769	5.913 (27)	0,92 ns	84.647 ns	70
C 909	6.236 (19)	1,18 ns	507.282 "	61
Média	6.351	-	-	-

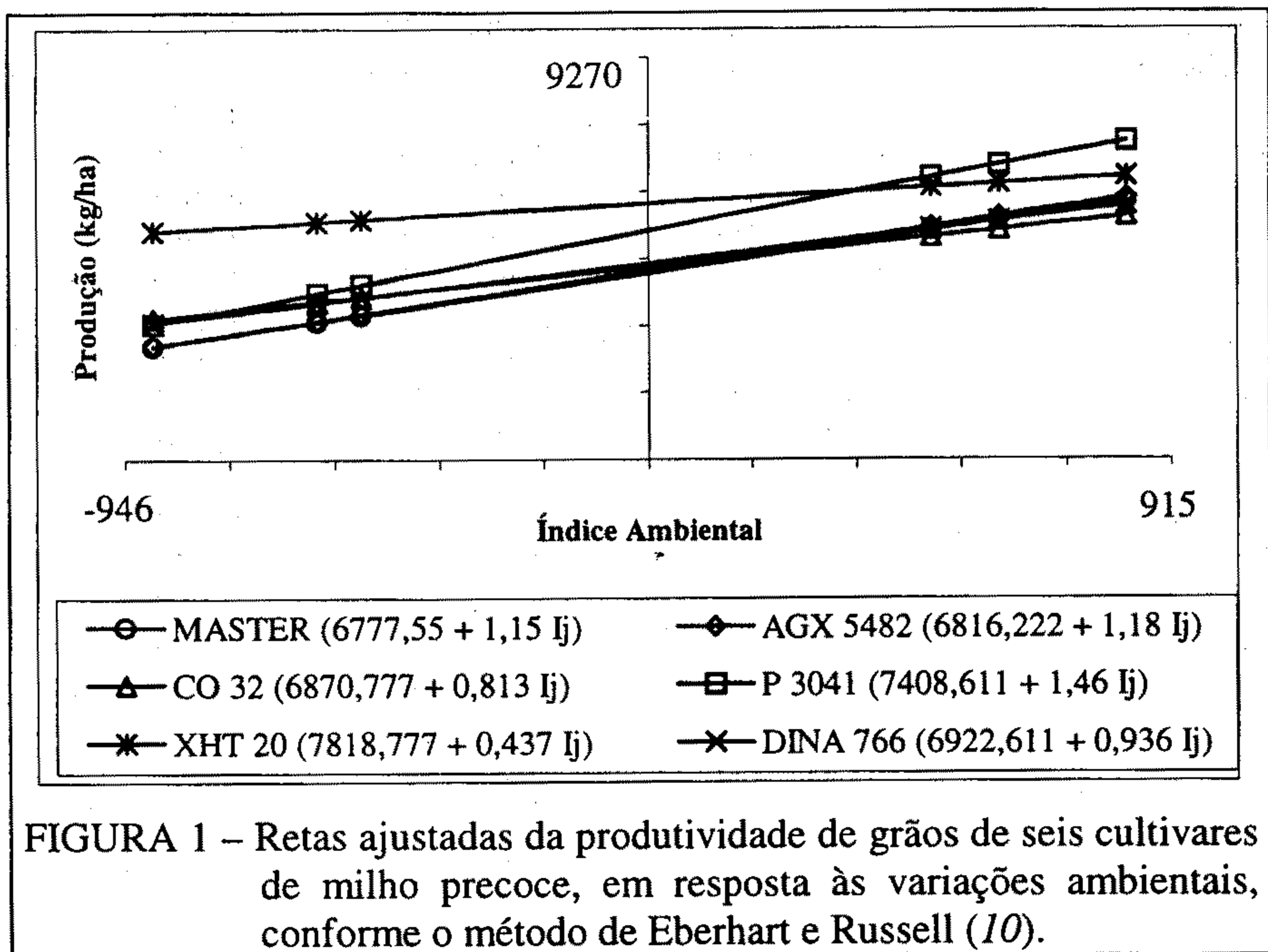
^{IV} Posição relativa de indicação de cultivares, pela média de produtividade.

*, ** Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste t.

’, ” Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Método do Trapézio Quadrático Ponderado pelo CV Univariado (TQPCV) e Multivariado (TQPCVM)

A posição relativa de indicação dos cultivares em teste, de acordo com o método do trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação univariado (TQPCV) e multivariado (TQPCVM), para ambiente geral, é apresentada no Quadro 3. Os cultivares P 3041 e XHT 20 apresentaram os menores valores de P_{ig} com relação à produtividade. O método de Lin e Binns (15) modificado por Carneiro (4), TQPCV, só para os dados de produtividade, consegue eleger o cultivar XHT 20 como de adaptabilidade ampla, donde se conclui que o método TQPCV é mais apropriado do que o de Eberhart e Russell (10), para indicação de cultivares pelos dados de produtividade.



Na análise multivariada, incluindo produtividade, altura de plantas e altura de inserção da primeira espiga (Prod + HP + HIE), o cultivar P 3041 foi o 4º, e o cultivar XH 20 foi o 3º, pelos valores de P_{mig} , sendo estes indicados como de ampla adaptabilidade também pela análise multivariada (Quadro 3). Os cultivares ZEN 8392, DINA 766, MASTER e XL 360

também seriam indicados com base na produtividade por possuírem baixos valores de P_{ig} . No entanto, quando se avaliam simultaneamente a Prod + HP + HIE, estes cultivares apresentam altos valores de P_{mig} , demonstrando baixa estabilidade e adaptabilidade nas características simultâneas.

QUADRO 3 – Valores da estatística P_i para adaptabilidade geral considerando a característica produtividade (P_{ig}) pelo método TQPCV e o conjunto das características produtividade, altura de plantas e de inserção de espigas (P_{mig}) pelo método TQPCVM, segundo Carneiro (4)						
Cultivar	Média geral	P_i				
		P_{ig}		P_{mig}		
AGX 5273	6.010 (26) ^{1/}	3,5480	(23) ^{2/}	0,3194	(10) ^{3/}	
AGROMEN 2012	6.074 (25)	4,0648	(26)	0,4240	(21)	
XL 360	6.691 (11)	2,1282	(6)	0,4793	(25)	
ZEN 84 E 90	5.501 (31)	4,7300	(29)	0,5444	(27)	
P 3071	6.695 (9)	2,7725	(16)	0,3393	(14)	
AL 25	5.774 (29)	4,9138	(31)	0,6372	(32)	
AGX 9674	6.095 (24)	3,3713	(19)	0,6331	(30)	
AG 9014	5.410 (32)	5,4014	(32)	0,7019	(33)	
DENSUS	4.654 (33)	6,9171	(33)	0,6345	(31)	
ZEN 8392	6.740 (8)	1,9006	(3)	0,4091	(19)	
C 806	6.189 (21)	3,8486	(25)	0,1997	(1)	
AG 5014	5.840 (28)	4,1714	(28)	0,3654	(16)	
MASTER	6.778 (7)	2,0776	(5)	0,3564	(15)	
AGX 5482	6.816 (6)	2,2674	(9)	0,2924	(7)	
XL 345	6.453 (17)	2,6686	(14)	0,4161	(20)	
CO 32	6.871 (5)	2,2317	(7)	0,2861	(6)	
AGROMEN 3000	6.238 (18)	3,4729	(21)	0,3795	(18)	
AG 3010	5.528 (30)	4,8499	(30)	0,6263	(29)	
CO 34	6.493 (15)	2,4266	(13)	0,2225	(2)	
XHT 12	6.645 (12)	2,3114	(11)	0,6250	(28)	
XL 221	6.234 (20)	3,4563	(20)	0,3316	(12)	
ZEN 84 E 74	6.531 (13)	2,3455	(12)	0,3066	(8)	
AG 5011	6.134 (23)	3,6136	(24)	0,4821	(26)	
M 9560	6.475 (16)	2,8737	(17)	0,3385	(13)	
ZEN 8300	6.694 (10)	2,2564	(8)	0,4760	(24)	
EXCELER	6.188 (22)	3,0833	(18)	0,3711	(17)	
P 3041	7.409 (2)	1,1540	(1)	0,2502	(4)	
DINA 657	7.008 (3)	2,2713	(10)	0,2742	(5)	
XHT 20	7.819 (1)	1,1988	(2)	0,3365	(3)	
DINA 766	6.923 (4)	2,0721	(4)	0,3154	(9)	
BR 3123	6.510 (14)	2,6942	(15)	0,4336	(22)	
DINA 769	5.913 (27)	4,1573	(27)	0,4443	(23)	
C 909	6.236 (19)	3,4788	(22)	0,3256	(11)	

^{1/}, ^{2/} e ^{3/} Posição relativa de indicação de cultivares pela média geral, P_{ig} e P_{mig} , respectivamente.

No Quadro 4 são apresentados os resultados da adaptabilidade e estabilidade dos cultivares específica para ambientes favoráveis. São indicados, com base no P_{mif} , os cultivares P 3041, XHT 20, DINA 766 e AGX 5482. Os cultivares P 3041 e XHT 20 também haviam sido indicados pelo P_{mig} , demonstrando confiabilidade no método em questão. Os cultivares AGROMEM 3000 e M 9560, apesar dos baixos valores de P_{if} , não são indicados, por possuírem elevado valor de P_{mif} , sendo classificados em 16º e 15º, respectivamente, por este critério.

No Quadro 5 são apresentados os valores de P_{id} e P_{mid} . São indicados para ambientes desfavoráveis os cultivares P 3041, XHT 20, MASTER, XL 360, que possuem baixos valores de P_{id} e P_{mid} . Mais uma vez verifica-se consistência no método TQPCVM que indica os cultivares P 3041 e XHT 20, também indicados para adaptabilidade ampla.

A seleção orientada para a redução do porte e da altura de inserção da primeira espiga, visando ao aumento da resistência ao acamamento e à adequação às novas tecnologias aplicadas à cultura, encontrarão como obstáculo a redução na produção de grãos (6, 12, 16, 18). Entretanto, os valores aqui obtidos apontam que se podem obter cultivares com excelente produtividade, mesmo com a redução do porte e a altura de inserção da primeira espiga. Geralmente, os cultivares de ciclo precoce apresentam porte mais reduzido que os de ciclo tardio, devido a poligenes (12). Neste trabalho, todos os cultivares são de ciclo precoce, e os que apresentaram menores valores de P_{im} , pela análise TQPCVM, e simultaneamente menores valores de P_i , na análise da produtividade, são os mais produtivos e que possuem os menores portes de planta, próximos a 2 m, e menor altura de inserção da espiga, próxima a 1 m, considerados ideais para a cultura do milho (2).

QUADRO 4 – Valores da estatística P_i para adaptabilidade a ambientes favoráveis considerando a característica produtividade (P_{if}) pelo método TQPCV e o conjunto das características produtividade, altura de plantas e de inserção de espigas (P_{mif}) pelo método TQPCVM, segundo Carneiro (4)

Cultivar	Média geral	P_i	
		P_{if}	P_{mif}
AGX 5273	6.010 (26) ^{1/}	1,2520 (28) ^{2/}	0,3307 (5) ^{3/}
AGROMEN 2012	6.074 (25)	0,9164 (23)	0,5002 (20)
XL 360	6.691 (11)	0,6706 (13)	0,6552 (28)
ZEN 84 E 90	5.501 (31)	1,4737 (30)	0,6459 (29)
P 3071	6.695 (9)	0,6924 (14)	0,4291 (13)
AL 25	5.774 (29)	1,4803 (31)	0,8428 (33)
AGX 9674	6.095 (24)	0,8284 (22)	0,7694 (31)
AG 9014	5.410 (32)	1,3886 (29)	0,8147 (32)
DENSUS	4.654 (33)	2,4471 (33)	0,6278 (26)
ZEN 8392	6.740 (8)	0,6444 (10)	0,4988 (19)
C 806	6.189 (21)	1,2370 (27)	0,2166 (1)
AG 5014	5.840 (28)	1,1225 (26)	0,4315 (14)
MASTER	6.778 (7)	0,6429 (9)	0,4599 (17)
AGX 5482	6.816 (6)	0,5832 (4)	0,3620 (9)
XL 345	6.453 (17)	0,6669 (12)	0,5118 (21)
CO 32	6.871 (5)	0,6639 (11)	0,3469 (6)
AGROMEN 3000	6.238 (18)	0,5833 (5)	0,4529 (16)
AG 3010	5.528 (30)	1,4937 (32)	0,7443 (29)
CO 34	6.493 (15)	0,7557 (19)	0,2597 (2)
XHT 12	6.645 (12)	0,7818 (20)	0,7496 (30)
XL 221	6.234 (20)	0,8245 (21)	0,3961 (12)
ZEN 84 E 74	6.531 (13)	0,7389 (17)	0,3554 (8)
AG 5011	6.134 (23)	0,7506 (18)	0,5770 (24)
M 9560	6.475 (16)	0,6069 (6)	0,4363 (15)
ZEN 8300	6.694 (10)	0,6277 (7)	0,5775 (25)
EXCELER	6.188 (22)	0,7334 (16)	0,4782 (18)
P 3041	7.409 (2)	0,3314 (1)	0,2955 (4)
DINA 657	7.008 (3)	0,6291 (8)	0,3495 (7)
XHT 20	7.819 (1)	0,3566 (2)	0,2871 (3)
DINA 766	6.923 (4)	0,5048 (3)	0,3740 (10)
BR 3123	6.510 (14)	0,9543 (24)	0,5258 (22)
DINA 769	5.913 (27)	1,0800 (25)	0,5348 (23)
C 909	6.236 (19)	0,7144 (15)	0,3864 (11)

^{1/}, ^{2/} e ^{3/} Posição relativa de indicação de cultivares pela média geral, P_{if} e P_{mif} , respectivamente.

QUADRO 5 – Valores da estatística P_i para adaptabilidade a ambientes desfavoráveis considerando a característica produtividade (P_{id}) pelo método TQPCV e o conjunto das características produtividade, altura de plantas e de inserção de espigas (P_{mid}) pelo método TQPCVM, segundo Carneiro (4)

Cultivar	Média geral	P_i	
		P_{id}	P_{mid}
AGX 5273	6.010 (26) ^{1/}	2,2960 (18) ^{2/}	0,3265 (15) ^{3/}
AGROMEN 2012	6.074 (25)	3,1484 (28)	0,4638 (23)
XL 360	6.691 (11)	1,4576 (5)	0,2177 (7)
ZEN 84 E 90	5.501 (31)	3,2562 (29)	0,6072 (29)
P 3071	6.695 (9)	2,0801 (16)	0,3620 (17)
AL 25	5.774 (29)	3,4335 (31)	0,1689 (3)
AGX 9674	6.095 (24)	2,5428 (20)	0,6884 (30)
AG 9014	5.410 (32)	4,0128 (32)	0,7918 (33)
DENSUS	4.654 (33)	4,4700 (33)	0,5356 (26)
ZEN 8392	6.740 (8)	1,2561 (3)	0,4840 (24)
C 806	6.189 (21)	2,6115 (21)	0,1982 (5)
AG 5014	5.840 (28)	3,0489 (26)	0,3866 (20)
MASTER	6.778 (7)	1,4347 (4)	0,1865 (4)
AGX 5482	6.816 (6)	1,6842 (13)	0,3015 (13)
XL 345	6.453 (17)	2,0017 (15)	0,4259 (22)
CO 32	6.871 (5)	1,5679 (8)	0,2500 (10)
AGROMEN 3000	6.238 (18)	2,8896 (25)	0,4214 (21)
AG 3010	5.528 (30)	3,3561 (30)	0,7031 (31)
CO 34	6.493 (15)	1,6708 (12)	0,2358 (8)
XHT 12	6.645 (12)	1,5299 (6)	0,7306 (32)
XL 221	6.234 (20)	2,6318 (22)	0,3054 (14)
ZEN 84 E 74	6.531 (13)	1,6065 (9)	0,3532 (16)
AG 5011	6.134 (23)	2,8631 (24)	0,5697 (27)
M 9560	6.475 (16)	2,2668 (17)	0,2943 (12)
ZEN 8300	6.694 (10)	1,6287 (10)	0,5703 (28)
EXCELER	6.188 (22)	2,3489 (19)	0,2549 (11)
P 3041	7.409 (2)	0,8226 (1)	0,1262 (2)
DINA 657	7.008 (3)	1,6422 (11)	0,2108 (6)
XHT 20	7.819 (1)	0,8422 (2)	0,1061 (1)
DINA 766	6.923 (4)	1,5673 (7)	0,3725 (18)
BR 3123	6.510 (14)	1,7399 (14)	0,2400 (9)
DINA 769	5.913 (27)	3,0773 (27)	0,5122 (25)
C 909	6.236 (19)	2,7644 (23)	0,3736 (19)

^{1/}, ^{2/} e ^{3/} Posição relativa de indicação de cultivares pela média geral, P_{id} e P_{mid} , respectivamente.

CONCLUSÕES

1) O método do TQPCV permite a indicação mais confiável dos cultivares em relação ao método de Eberhart e Russell.

2) Apesar de o método TQPCVM ser mais rigoroso que o de Eberhart e Russell (1966) e o TQPCV, por ele é possível detectar cultivares de maior produtividade e que, ao mesmo tempo, tenham altura de plantas e de inserção de espigas próximos ao preconizado neste trabalho.

3) A recomendação de cultivares pelo método TQPCV multivariado possui maior facilidade na interpretação dos resultados pela unicidade dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade, sem desconsiderar a média de produtividade.

4) Pelo método TQPCVM são mais indicados os cultivares XHT 20 e P 3041, para condições gerais, favoráveis ou desfavoráveis, P 3041, XHT 20, DINA 766 e AGX 5482, para ambientes favoráveis, e P 3041, XHT 20, MASTER e XL 360, para ambientes desfavoráveis.

REFERÊNCIAS

1. ALLARD, R.W. Princípios do melhoramento genético de plantas. São Paulo, Edgard Blucher, 1971. 381p.
2. ANDERSON, J. C. & CROW, P.W. Phenotypes and grain yield associated with braquitic-2 gene in single-cross hybrids of dent corn. *Crop Science*, 3: 111-3, 1963.
3. ÁVILA, A.V. & SÁNCHEZ, F.M. Comparación de métodos de ajuste para corrección por fallas en sorgos para grano. *Agrociencia*, 31: 45-64, 1978.
4. CARNEIRO, P.C.S. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1998. 168p (Tese de doutorado).
5. COMSTOCK, R.E. & MOLL, R.H. Genotype x environment interactions. In: Hanson, W. D. & Robinson, H. F. (eds.). *Statistical genetical and plant breeding*. Washington, National Academy of Sciences, 1963, p. 164-96.
6. CRUZ, C.D. Análise dialéctica e correlações entre caracteres em combinações híbridas de linhagens endogâmicas de milho. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1983. 54p. (Tese de mestrado).
7. CRUZ, C. D. Programa GENES, aplicativo computacional em Genética e Estatística. Viçosa, UFV, 2001. 648p.
8. CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1994. 390p.
9. CRUZ, C. D., TORRES, R. A. & VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, 12: 567 – 80, 1989.
10. EBERHART, S.A. & RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6: 36-40, 1966.
11. FERRÃO, R. G. Cultivares de milho para o Estado do Espírito Santo. In: EMCAPA. *Manual técnico para a cultura do milho no Estado do Espírito Santo*. Vitória, 1996. p. 35-46.

12. FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. A cultura do milho no Paraná. Londrina, 1991. 271p.
13. GAMA, E. E. G. & HALLAUER, A. R. Stability of hybrids produced from selected and unselected lines of maize. *Crop Science*, 20: 623-6, 1980.
14. HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, 47: 189-94, 1990.
15. LIN, C.S. & BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68: 193-8, 1988.
16. NEUFFER, M. G.; JONES, L. & ZUBER, M. S. The mutants of maize. Madison, Crop Science Society of America, 1968. 74p.
17. OLIVEIRA, A.C. Comparação de alguns métodos de determinação da estabilidade de plantas cultivadas. Brasília, UnB, 1976. 64p. (Dissertação de mestrado).
18. PATERNIANI, E. (ed.) Melhoramento e produção do milho no Brasil. Piracicaba/ESALQ, 1978. 650p.
19. VENDRUSCULO, E. C. G. Comparação de métodos e avaliação da adaptabilidade e estabilidade de comportamento de vinte genótipos de milho pipoca (*Zea mays* L.) na região centro-sul do Brasil. Maringá, UEM, 1997. 79p. (Dissertação de mestrado).
20. VERMA, M. M.; CHAHAL, G.S. & MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. *Theoretical and Applied Genetics*, 53: 89 - 91, 1978.
21. VERONESI, J.A. Comparação de métodos e avaliação da adaptabilidade e estabilidade de comportamento de vinte genótipos de milho (*Zea mays* L.) em dez ambientes do Estado de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1995. 90p. (Tese de mestrado).