

# Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho

Edilson Romais Schmildt<sup>1\*</sup>, Adriel Lima Nascimento<sup>1</sup>, Cosme Damião Cruz<sup>2</sup> e Jaqueline Aparecida Raminelli Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Rod. BR 101 Norte, Km 60, 29932-540, São Mateus, Espírito Santo, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Biologia Geral, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: edilsonschmildt@ceunes.ufes.br

**RESUMO.** Este trabalho objetivou comparar três metodologias para análise de adaptabilidade e estabilidade de produtividade. Foi avaliada a produtividade de cultivares de milho do ensaio nacional da Embrapa, centro, nas safras agrícolas 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007, determinando-se a adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Lin e Binns com decomposição (CRUZ; CARNEIRO, 2006); Annicchiarico com decomposição (SCHMILDT; CRUZ, 2005) e um método proposto baseado no método de Annicchiarico com decomposição. Foram propostos a utilização do erro-padrão da média ao invés do desvio-padrão, no cálculo da variabilidade dos ambientes para cada cultivar e também o aumento do nível de confiança, de 75 para 95%. Percebeu-se que os resultados de indicação de cultivares pelos três métodos apresentaram alta correlação de Spearman ( $p < 0,01$ ). A metodologia proposta, apresenta as vantagens de valorizar mais os desvios apresentados entre os ambientes, por levar em consideração o número de ambientes e também por apresentar menor nível de significância, possibilitando menor erro do tipo I. A metodologia proposta apresenta os resultados numéricos do índice de confiança de mesmo valor que os resultados do método de Annicchiarico com decomposição quando o número de ambientes em comparação for igual a seis.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, performance genotípica, interação genótipo x ambiente.

**ABSTRACT. Evaluation of methodologies of adaptability and stability in corn cultivars.** The aim of this study was to compare three methodologies which analyze adaptability and stability of corn cultivars. It evaluated the productivity of corn cultivars of the national experiment of Embrapa, center, regarding the crops 2004/2005, 2005/2006 and 2006/2007, in order to determine the adaptability and stability, by the methods of Lin and Binns with decomposition (CRUZ; CARNEIRO, 2006), Annicchiarico with decomposition (SCHMILDT; CRUZ, 2005) and by another method proposed based on the Annicchiarico method with decomposition. The use of the average standard error instead of the standard deviation in the calculation of the variability of environments for each cultivar, as well as for the increasing of the confidence level of 75 to 95% was proposed. It was noticed that the results of indication of cultivars by the three methods showed Spearman's high correlation ( $p < 0.01$ ). The new method presents advantages: it values the deviations between the environments by taking into account the number of environments and presenting the lowest level of significance (allowing lowest type I error). The proposed methodology presents the numerical results of the confidence index equal to the results of the Annicchiarico method with decomposition when the compared number of environments is equal to six.

**Keywords:** *Zea mays*, genotypic performance, genotype x environment interaction.

## Introdução

A maioria dos caracteres quantitativos, como a produtividade, é de natureza poligênica e muito influenciada pelo ambiente. A interação genótipos x ambientes exerce grande influência sobre a expressão destes caracteres quantitativos.

Estudos sobre a interação genótipos x ambientes, apesar de serem de grande importância para o melhoramento, não proporcionam informações

pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo nas variações ambientais. Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais se torna possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivas às variações ambientais, seja em condições específicas ou amplas (CRUZ; REGAZZI, 2001).

A busca de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade envolve o estudo de metodologias

que propiciem estimativas mais precisas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. O ideal é que a metodologia de avaliação seja de fácil interpretação, com uso de poucas estatísticas, confiável e que possa ser usada tanto para pequeno quanto para grande número de ambientes (HUEHN, 1990; SCHMILDT; KRAUSE, 2003).

Atualmente, há mais de uma dezena de metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade, destinadas à avaliação de um grupo de material genético. Dentre as metodologias de uso mais frequente, atualmente, estão: Lin e Binns (1988), que avalia o desempenho de cada genótipo em relação à resposta máxima em cada ambiente e a de Annicchiarico (1992), que estima o risco de adoção de determinado genótipo. Estas duas metodologias usam apenas uma estatística cada e são de fácil interpretação. Silva et al. (2008), testando metodologias de adaptabilidade e estabilidade, baseadas em análise de regressão, análise de variância e não-paramétrica, chegaram à conclusão que as melhores metodologias eram as baseadas em Lin e Binns (1988) e em Annicchiarico (1992) que englobam em um único parâmetro os conceitos de adaptação, adaptabilidade e estabilidade, facilitando a interpretação dos resultados.

A partir das metodologias de Lin e Binns (1988) e de Annicchiarico (1992), surgiram outras. Cruz e Carneiro (2006) citam seis modificações à metodologia de Lin e Binns. O método MHPRVG (Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos) é outra modificação ao método destes autores (1988) e que vem sendo usada em avaliações de adaptabilidade e estabilidade (BASTOS et al., 2007; CARBONELL et al., 2007). A partir da metodologia de Annicchiarico também surgiram outras com modificações como as realizadas por Abreu et al. (2004) e por Schmildt e Cruz (2005). Avaliações comparativas das metodologias baseadas em Lin e Binns e em Annicchiarico têm sido realizadas com frequência (RIBEIRO et al., 2000; SCHMILDT et al., 2006; SILVA; DUARTE, 2006; BASTOS et al., 2007; CARBONELL et al., 2007; CARGNELUTTI FILHO et al., 2007; MORA et al., 2007; MATSUO et al., 2008; SILVA et al., 2008).

A metodologia de Annicchiarico (1992) possui como estatística o índice de confiança ( $I_i$ ), cujo resultado é expresso em porcentagem em relação à média dos ambientes analisados. O nível de significância deste teste é de 25% e a adaptabilidade e estabilidade são computadas por meio do desvio-padrão entre as médias percentuais dos ambientes, conforme demonstrado por Schmildt e Cruz (2005). Annicchiarico (2002) relata que o nível de confiança para o seu próprio teste pode variar de 70 até 95%

para a agricultura moderna. No entanto, quanto maior o nível de confiança, mais difícil se torna distinguir genótipos superiores, levando os pesquisadores da área a usarem apenas 75% como nível de confiança no método de Annicchiarico.

Análises de adaptabilidade vêm sendo usadas principalmente para características produtivas e mais recentemente para outras finalidades como para ecofisiologia dos componentes do rendimento (CAPRISTO et al., 2007) e para caracteres produtivos associados a marcadores moleculares (SPATARO; NEGRI, 2008). Hanson et al. (2007) salientam que dentre os elementos-chave para a dinâmica dos sistemas agrícolas do futuro estão a estabilidade e a adaptabilidade das culturas agrícolas.

Neste trabalho, avaliaram-se comparativamente três metodologias de indicação de cultivares de milho quanto à adaptabilidade e estabilidade de produtividade, sendo uma das metodologias propostas neste trabalho a de modificação à metodologia de Annicchiarico, pelo aumento do nível de confiança do teste.

## Material e métodos

### Material experimental

Foram usados dados referentes ao ensaio nacional de cultivares de milho, safras 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007, desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo e conduzidos nas principais regiões produtoras de milho, nos seguintes Estados: Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná e São Paulo. Os dados referem-se à produção de grãos, em kg ha<sup>-1</sup>. Os ensaios foram montados em delineamento em látice quadrado, com duas repetições. Na safra 2004/2005, foram avaliadas 64 cultivares em látice 8 x 8 e nas safras 2005/2006 e 2006/2007 foram avaliadas 49 cultivares em látice 7 x 7.

Em cada ensaio, as parcelas experimentais foram constituídas de duas linhas de 5,0 m espaçadas entre si por 0,9 m. Em cada metro linear após desbaste ficaram em média com 4,5 a 5 sementes o que permitiu estande final de aproximadamente entre 50.000 e 55.000 plantas por hectare.

Os ambientes em análise foram: Balsas, Estado do Maranhão; Belterra, Estado do Pará; Birigui, Estado de São Paulo; Campos dos Goitacazes, Estado do Rio de Janeiro; Campo Alegre, Estado de Goiás; Campo Grande, Estado do Mato Grosso do Sul; Catalão, Estado de Goiás; Formiga, Estado de Minas Gerais; Goianésia, Estado de Goiás; Guairá, Estado de São Paulo; Guarda Mor, Estado de Minas Gerais; Indianópolis, Estado de Minas Gerais; Inhumas, Estado de Goiás; Itumbiara, Estado de

Goiás; Iguatama, Estado de Minas Gerais; Ipiacu, Estado de Minas Gerais; Lavras, Estado de Minas Gerais; Limeira, Estado de São Paulo; Londrina, Estado do Paraná; Manduri, Estado de São Paulo; Paracatu, Estado de Minas Gerais; Paragominas, Estado do Pará; Palmas, Estado do Tocantins; Patos de Minas, Estado de Minas Gerais; Pedro Afonso, Estado do Tocantins; Piracicaba, Estado de São Paulo; Rio Brillhante, Estado do Mato Grosso do Sul; Santo Antônio de Goiás, Estado de Goiás; São Carlos, Estado de São Paulo; São Desidério (Fazenda Glória), Estado da Bahia; São Desidério (Fazenda Novo Horizonte), Estado da Bahia; Senador Canedo, Estado de Goiás; Sete Lagoas, Estado de Minas Gerais; Tailândia, Estado do Pará; Unaí, Estado de Minas Gerais; Viçosa, Estado de Minas Gerais. Nem todos os ambientes citados foram avaliados nas três safras.

#### Métodos de adaptabilidade e estabilidade

O desempenho genotípico foi analisado com base nas estimativas das estatísticas de adaptabilidade e estabilidade de comportamento por meio dos métodos de Lin e Binns (1988) com decomposição (CRUZ; CARNEIRO, 2006); Annicchiarico (1992), modificado por Schmilt e Cruz (2005) e método proposto neste trabalho. As metodologias de avaliação do desempenho das cultivares em teste, aplicadas neste trabalho, são apresentadas a seguir.

#### Método de Lin e Binns (1988) com decomposição (CRUZ; CARNEIRO, 2006)

O método de Lin e Binns (1988), para se estimar o desempenho genotípico, é definido como o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes. Esta medida é dada por:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

em que:

$P_i$  = estimativa da estatística estabilidade e adaptabilidade da cultivar  $i$ ;

$X_{ij}$  = produtividade da  $i$ -ésima cultivar no  $j$ -ésimo ambiente;

$M_j$  = resposta máxima observada entre todas as cultivares no ambiente  $j$ ; e

$n$  = número de ambientes.

Cruz e Carneiro (2006) relatam a decomposição do  $P_i$  para ambientes favoráveis e desfavoráveis. A classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis é realizada com base nos índices ambientais, definidos como a diferença entre a

média das cultivares avaliadas em cada ambiente e a média geral. As decomposições são demonstradas a seguir, conforme Cruz e Carneiro (2006):

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (X_{ij} - M_j)^2}{2f}$$

Para ambientes favoráveis, em que  $f$  é o número de ambientes favoráveis, sendo estes considerados como índices ambientais maiores ou iguais a zero.

De forma análoga, para os ambientes desfavoráveis,

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (X_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

em que:

$d$  é o número de ambientes desfavoráveis, cujo índice ambiental é negativo.

#### Método de Annicchiarico (1992) modificado por Schmilt e Cruz (2005)

Annicchiarico (1992) considera que toda atividade agrícola envolve um risco, e que este pode ser medido e ajudar no poder de decisão sobre o uso de cultivares. Para tal, o autor propôs um método que proporciona medida de estabilidade denominada de índice de confiança ( $I_i$ ). Quanto maior for este índice, maior será a confiança na recomendação da cultivar.

Os procedimentos para os cálculos pelo método proposto por Annicchiarico (1992) dão-se, inicialmente, com a transformação das médias de cada cultivar em cada ambiente, em porcentagem da média do ambiente ( $\bar{Y}_{ij}$ ), sendo o desvio-padrão ( $\hat{\sigma}_{i.}$ ) e a média ( $\bar{y}_{i.}$ ) das porcentagens de cada cultivar posteriormente estimados. De posse destas estimativas, obtém-se o índice de confiança ( $I_i$ ) por meio do seguinte estimador:

$$I_i = \bar{Y}_{i.} - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_{i.})$$

sendo ainda:

$Z_{(1-\alpha)}$  = valor na distribuição normal estandardizada no qual a função de distribuição acumulada atinge o valor  $(1-\alpha)$ , com nível de significância  $\alpha$  pré-fixado pelo autor em 0,25.

Schmilt e Cruz (2005) propuseram a decomposição do  $I_i$  para ambientes favoráveis ( $I_{if}$ ) e desfavoráveis ( $I_{id}$ ), de acordo com os índices ambientais. O índice ambiental é definido como a diferença entre a média das cultivares avaliadas em cada ambiente e a média geral. Desta forma, considerando-se ainda ambientes favoráveis aqueles

com índices maiores ou iguais a zero, e ambientes desfavoráveis aqueles com índices negativos:

$I_{if} = \bar{Y}_{if} - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_{if})$  para ambientes favoráveis, em que  $f$  representa os ambientes favoráveis; e  $I_{id} = \bar{Y}_{id} - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_{id})$  para ambientes desfavoráveis, em que  $d$  representa os ambientes desfavoráveis.

#### Método proposto

O método proposto tem por base o uso do índice de confiança de Annicchiarico (1992) modificado por Schmildt e Cruz (2005). O que se propõe é o uso do erro-padrão da média ao invés do desvio-padrão e o aumento do nível de confiança, de 75%, no método de Annicchiarico (1992), para 95% neste método. Os novos índices com a modificação sugerida são expressos a seguir:

a) Para ambiente geral;

$$I_i = \bar{Y}_i - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_i / \sqrt{n})$$

b) Para ambientes favoráveis;

$$I_{if} = \bar{Y}_{if} - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_{if} / \sqrt{f})$$

c) Para ambientes desfavoráveis;

$$I_{id} = \bar{Y}_{id} - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_{id} / \sqrt{d})$$

sendo:

$1 - \alpha$  igual a 95%,  $Z = 1,6449$  pelo método de Annicchiarico, com  $1 - \alpha$  igual a 75%,  $Z = 0,6745$ . Desta forma, considerando-se, pelos dois métodos, os mesmos valores de desvio-padrão da porcentagem, têm-se:

$$I_i = \bar{Y}_i - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_i) \text{ de Annicchiarico (1992)} \quad (1)$$

$$I_i = \bar{Y}_i - Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_i / \sqrt{n}) \text{ proposto} \quad (2)$$

Igualando os dois índices contidos em (1) e (2), teremos:

$$Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_i) = Z_{(1-\alpha)}(\hat{\sigma}_i / \sqrt{n}) \quad (3)$$

Substituindo-se em (3) os valores de  $Z_{(1-\alpha)}$  e considerando-se os mesmos valores dos desvios-padrão da porcentagem, tem-se que as duas metodologias apresentarão resultados dos valores dos índices de recomendação semelhantes quando o número de ambientes em análise for de 6 ( $n = 5,947$ ).

Após análise da adaptabilidade e estabilidade pelos três métodos citados, os resultados das estatísticas foram analisados pela correlação classificatória de Spearman.

Todas as análises estatísticas empregadas neste trabalho foram realizadas com o auxílio do programa GENES – Aplicativo Computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2006).

#### Resultados e discussão

Os resultados das médias de produtividade, nos vários ambientes, e da análise de adaptabilidade e estabilidade pelos três métodos para ambiente geral, favoráveis e desfavoráveis são apresentados de forma resumida na Tabelas 1, 2 e 3. Como efeito de comparação, foram apresentados resultados das estatísticas dos três métodos para as dez cultivares com maior índice de confiabilidade pela metodologia proposta.

Na safra 2004/2005, foram avaliados 26 ambientes com média de 6.331,98 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 14 ambientes favoráveis com média de 7.576,71 kg ha<sup>-1</sup> e 12 ambientes desfavoráveis com média de 4.879,84 kg ha<sup>-1</sup>. Na safra 2005/2006, foram avaliados 24 ambientes com média de 6.199,72 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 13 ambientes favoráveis com média de 7.698,23 kg ha<sup>-1</sup> e 11 ambientes desfavoráveis com média de 4.429,02 kg ha<sup>-1</sup>. Na safra 2006/2007, foram avaliados 23 ambientes com média de 6.827,61 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 11 ambientes favoráveis com média de 8.380,72 kg ha<sup>-1</sup> e 12 ambientes desfavoráveis com média de 5.403,92 kg ha<sup>-1</sup>.

Para ambiente geral, na safra de 2004/2005, os três métodos indicam a cultivar P 30F90 como a de maior adaptabilidade e estabilidade e a mesma também apresenta a maior média geral (Tabela 1). No entanto, pelo método de Lin e Binns não se pode precisar o quanto este genótipo é superior. Pelo método de Annicchiarico, pode-se afirmar que, com 75% de confiança, a cultivar P 30F90 será 1,06% superior à média dos ambientes. Pelo método proposto baseado no método de Annicchiarico com decomposição, pode-se dizer que, com 95% de confiança, o genótipo P 30F90 será 10,15% superior à média dos ambientes. Esta mesma cultivar também é a mais indicada para ambientes favoráveis e desfavoráveis, pelos três métodos. No entanto, a metodologia proposta parece ser a mais coerente, visto que os valores do índice de confiabilidade para ambientes favoráveis e desfavoráveis se aproximam mais do valor do índice de confiabilidade para ambiente geral. Pelo método de Annicchiarico modificado (SCHMILDT; CRUZ, 2005), isto não ocorreu, e pelo método de Lin e Binns com decomposição (CRUZ; CARNEIRO, 2006) não se

pode precisar o quanto a cultivar é superior às demais pela adaptabilidade e estabilidade da estatística  $P_i$ .

Pelos resultados de avaliação da safra 2004/2005, seriam indicadas as cultivares P 30F90 e NB 7233 para ambiente geral, pelas três metodologias. A cultivar AS 2449 possuiu a terceira maior média e foi também a terceira mais indicada pelo método de Lin e Binns com decomposição (CRUZ; CARNEIRO, 2006). No entanto, é apenas a oitava e sétima respectivamente, pelos métodos de Annicchiarico modificado (SCHMILDT; CRUZ, 2005) e pelo proposto, respectivamente, com baixos índices de confiabilidade. Isto demonstra que as metodologias baseadas nos índices de confiança, além de prestigiar as médias, prestigiam mais os desvios existentes entre os ambientes para cada cultivar em análise. De fato, o método de Annicchiarico é classificado como método baseado na análise de variância e o método de Lin e Binns é classificado como não-paramétrico (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Ainda para a safra 2004/2005, seriam mais indicadas para ambientes favoráveis as cultivares P 30F90 e NB 7233 que são as mesmas indicadas para ambiente geral. Para ambientes desfavoráveis, seriam mais indicadas as cultivares NB 7233, P 30F90 e P 30P70. Observa-se, na Tabela 1, que, para ambientes

desfavoráveis, não consta entre as dez mais indicadas a cultivar AS 2449, que foi uma das cultivares de maior estabilidade e adaptabilidade pelo método de Lin e Binns com decomposição (CRUZ; CARNEIRO, 2006) e que não foi indicada pelo método de Annicchiarico modificado (SCHMILDT; CRUZ, 2005) e pelo método proposto. Isto demonstra, mais uma vez, que as metodologias baseadas no índice de confiança são mais coerentes entre si.

Para a safra 2005/2006 (Tabela 2), as cultivares de ampla adaptabilidade mais indicadas pelos três métodos são Dow 2B710 e NB7254. Com indicação específica para ambientes favoráveis, poderiam ser indicadas ainda as cultivares AS-1567 e NB7254. Para ambientes desfavoráveis, as cultivares NB7324 e Dow 2B710.

Com relação à safra 2006/2007 (Tabela 3), as cultivares de ampla adaptabilidade mais indicadas pelos três métodos são P 30F35 e P 30S40. Com indicação específica para ambientes favoráveis, poderiam ser indicadas ainda as cultivares Dow 2B587 e P 30S40. Para ambientes desfavoráveis, as cultivares P 30K73 e P 30F35.

A correlação de Spearman entre as posições relativas de indicação das cultivares para as três safras avaliadas é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 1.** Resumo da análise de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Lin e Binns (1988) com decomposição, Annicchiarico (1992) modificado e proposto, para a safra 2004-2005.

| Cultivar | Média                                                    | Posto | Ambiente Geral        |       |                 |       |          |                    |
|----------|----------------------------------------------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------|-------|----------|--------------------|
|          | Geral (kg ha <sup>-1</sup> )                             |       | P <sub>i</sub>        | Posto | I <sub>i</sub>  | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| XB 7116  | 6.870                                                    | 12    | 2.180.779             | 12    | 92,88           | 9     | 101,11   | 10                 |
| AG 5020  | 7.036                                                    | 8     | 1.881.909             | 6     | 92,63           | 10    | 101,88   | 9                  |
| DKB 390  | 7.256                                                    | 4     | 1.439.280             | 4     | 95,78           | 3     | 104,93   | 3                  |
| DKB 199  | 6.980                                                    | 9     | 1.920.719             | 7     | 93,73           | 7     | 102,16   | 8                  |
| P 30F90  | 7.462                                                    | 1     | 1.064.421             | 1     | 101,06          | 1     | 110,15   | 1                  |
| P 30P70  | 7.235                                                    | 5     | 1.944.078             | 9     | 94,68           | 6     | 104,50   | 5                  |
| NB 7233  | 7.363                                                    | 2     | 1.263.818             | 2     | 98,62           | 2     | 107,88   | 2                  |
| NB7283   | 7.080                                                    | 7     | 1.939.876             | 8     | 95,48           | 4     | 104,49   | 6                  |
| AS 2314  | 7.162                                                    | 6     | 1.512.916             | 5     | 95,28           | 5     | 104,57   | 4                  |
| AS 2449  | 7.285                                                    | 3     | 1.301.814             | 3     | 93,27           | 8     | 103,49   | 7                  |
| Cultivar | Média nos ambientes Favoráveis (kg ha <sup>-1</sup> )    | Posto | Ambiente Favorável    |       |                 |       |          |                    |
|          |                                                          |       | P <sub>if</sub>       | Posto | I <sub>if</sub> | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| AG 5020  | 8.393                                                    | 9     | 1.953.772             | 6     | 106,05          | 5     | 107,77   | 7                  |
| DKB 390  | 8.681                                                    | 4     | 1.736.783             | 5     | 106,04          | 6     | 109,21   | 4                  |
| DKB 199  | 8.252                                                    | 12    | 2.422.985             | 12    | 103,08          | 9     | 105,14   | 9                  |
| P 30F90  | 8.928                                                    | 1     | 1.203.431             | 1     | 111,29          | 1     | 113,70   | 1                  |
| P 30P70  | 8.530                                                    | 6     | 2.496.812             | 13    | 101,17          | 12    | 104,82   | 10                 |
| NB 7201  | 8.432                                                    | 8     | 2.214.016             | 8     | 103,79          | 8     | 106,21   | 8                  |
| NB 7233  | 8.713                                                    | 3     | 1.562.722             | 3     | 106,70          | 2     | 109,50   | 3                  |
| AS 2314  | 8.665                                                    | 5     | 1.584.531             | 4     | 105,15          | 7     | 108,37   | 5                  |
| AS 2449  | 8.805                                                    | 2     | 1.274.995             | 2     | 106,70          | 3     | 109,96   | 2                  |
| GNZ 2004 | 8.471                                                    | 7     | 2.080.024             | 7     | 106,31          | 4     | 108,24   | 6                  |
| Cultivar | Média nos ambientes desfavoráveis (kg ha <sup>-1</sup> ) | Posto | Ambiente Desfavorável |       |                 |       |          |                    |
|          |                                                          |       | P <sub>id</sub>       | Posto | I <sub>id</sub> | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| XB 7116  | 5.371                                                    | 11    | 1.367.405             | 8     | 101,57          | 5     | 103,93   | 6                  |
| AG 7000  | 5.274                                                    | 14    | 1.575.049             | 10    | 98,77           | 9     | 101,80   | 9                  |
| AG 8060  | 5.426                                                    | 9     | 1.751.739             | 13    | 95,16           | 13    | 100,14   | 10                 |
| DKB 390  | 5.592                                                    | 5     | 1.092.192             | 4     | 100,53          | 7     | 103,68   | 7                  |
| DKB 199  | 5.496                                                    | 7     | 1.334.741             | 7     | 101,27          | 6     | 104,12   | 5                  |
| P 30F90  | 5.751                                                    | 2     | 902.243               | 1     | 108,74          | 1     | 111,72   | 1                  |
| P 30P70  | 5.725                                                    | 3     | 1.299.223             | 5     | 101,88          | 4     | 105,96   | 4                  |
| NB 7233  | 5.789                                                    | 1     | 915.096               | 2     | 107,05          | 3     | 110,37   | 2                  |
| NB7283   | 5.668                                                    | 4     | 1.045.685             | 3     | 107,17          | 2     | 109,87   | 3                  |
| AS 2314  | 5.410                                                    | 10    | 1.429.366             | 9     | 99,85           | 8     | 103,32   | 8                  |

<sup>1</sup>As dez cultivares listadas foram obtidas pelos postos 1 a 10 pelo método proposto.

**Tabela 2.** Resumo da análise de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Lin e Binns (1988) com decomposição, Annicchiarico (1992) modificado e proposto, para a safra 2005-2006.

| Cultivar  | Média                                | Posto | Ambiente Geral        |       |                 |       |          |                    |
|-----------|--------------------------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------|-------|----------|--------------------|
|           | Geral (kg ha <sup>-1</sup> )         |       | P <sub>i</sub>        | Posto | I <sub>i</sub>  | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| NB 7253   | 6.875                                | 8     | 1.844.865             | 6     | 105,05          | 4     | 107,76   | 6                  |
| NB 7254   | 7.243                                | 3     | 1.455.561             | 2     | 107,39          | 2     | 112,90   | 2                  |
| NB 7324   | 7.140                                | 4     | 1.693.666             | 4     | 106,28          | 3     | 111,74   | 4                  |
| BRS 3003  | 6.895                                | 7     | 2.044.260             | 7     | 98,94           | 9     | 104,92   | 10                 |
| GNZ2004   | 6.933                                | 6     | 1.840.096             | 5     | 101,93          | 7     | 107,20   | 8                  |
| Dow 2B710 | 7.330                                | 1     | 1.455.445             | 1     | 108,67          | 1     | 114,50   | 1                  |
| AS-1567   | 7.314                                | 2     | 1.652.945             | 3     | 104,19          | 5     | 111,93   | 3                  |
| AS-1570   | 6.812                                | 9     | 2.245.777             | 10    | 100,02          | 8     | 105,71   | 9                  |
| P 30P70   | 7.091                                | 5     | 2.179.939             | 9     | 98,67           | 10    | 109,37   | 5                  |
| 3A282     | 6.795                                | 10    | 2.164.025             | 8     | 102,85          | 6     | 107,45   | 7                  |
| Cultivar  | Média nos ambientes                  | Posto | Ambiente Favorável    |       |                 |       |          |                    |
|           | favoráveis (kg ha <sup>-1</sup> )    |       | P <sub>if</sub>       | Posto | I <sub>if</sub> | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| AGN30A06  | 8.367                                | 9     | 2.249.990             | 7     | 103,22          | 8     | 105,05   | 7                  |
| NB 7253   | 8.672                                | 4     | 1.514.838             | 3     | 108,21          | 3     | 109,55   | 4                  |
| NB 7254   | 9.092                                | 2     | 1.293.823             | 1     | 111,13          | 1     | 113,48   | 1                  |
| BRS 3003  | 8.477                                | 8     | 2.021.444             | 6     | 103,58          | 6     | 106,25   | 5                  |
| GNZ2004   | 8.597                                | 5     | 1.761.955             | 5     | 103,22          | 7     | 106,13   | 6                  |
| Dow 2B710 | 8.967                                | 3     | 1.661.524             | 4     | 106,44          | 4     | 109,88   | 3                  |
| AS-1567   | 9.167                                | 1     | 1.298.757             | 2     | 109,03          | 2     | 112,26   | 2                  |
| AS-1570   | 8.365                                | 10    | 2.452.631             | 12    | 101,40          | 10    | 103,92   | 10                 |
| P 30P70   | 8.491                                | 7     | 2.836.805             | 17    | 100,98          | 11    | 104,14   | 8                  |
| 1A142     | 8.291                                | 12    | 2.414.215             | 9     | 102,07          | 9     | 103,96   | 9                  |
| Cultivar  | Média nos ambientes                  | Posto | Ambiente Desfavorável |       |                 |       |          |                    |
|           | desfavoráveis (kg ha <sup>-1</sup> ) |       | P <sub>id</sub>       | Posto | I <sub>id</sub> | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| NB 7253   | 4.751                                | 13    | 2.234.897             | 12    | 101,88          | 6     | 103,55   | 8                  |
| NB 7254   | 5.057                                | 6     | 1.646.704             | 5     | 103,90          | 4     | 107,72   | 5                  |
| NB 7324   | 5.511                                | 1     | 1.013.958             | 1     | 116,93          | 1     | 119,13   | 1                  |
| GNZ2004   | 4.966                                | 9     | 1.932.445             | 6     | 100,47          | 7     | 103,93   | 7                  |
| BRS 1030  | 4.935                                | 10    | 2.137.517             | 11    | 99,55           | 9     | 102,40   | 10                 |
| Dow 2B710 | 5.395                                | 3     | 1.211.898             | 2     | 111,84          | 2     | 115,08   | 2                  |
| AS-1567   | 5.125                                | 5     | 2.071.531             | 9     | 99,88           | 8     | 105,28   | 6                  |
| AS-1570   | 4.978                                | 8     | 2.001.313             | 7     | 99,40           | 10    | 103,24   | 9                  |
| P 30P70   | 5.436                                | 2     | 1.403.643             | 3     | 102,42          | 5     | 109,95   | 4                  |
| 3A282     | 5.167                                | 4     | 1.411.861             | 4     | 107,43          | 3     | 110,27   | 3                  |

<sup>1</sup>As dez cultivares listadas foram obtidas pelos postos 1 a 10 pelo método proposto.**Tabela 3.** Resumo da análise de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Lin e Binns (1988) com decomposição, Annicchiarico (1992) modificado e proposto, para a safra 2006-2007.

| Cultivar   | Média                                | Posto | Ambiente Geral        |       |                 |       |          |                    |
|------------|--------------------------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------|-------|----------|--------------------|
|            | Geral (kg ha <sup>-1</sup> )         |       | P <sub>i</sub>        | Posto | I <sub>i</sub>  | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| AS-1567    | 7.554                                | 5     | 2.347.859             | 10    | 96,60           | 11    | 101,00   | 5                  |
| Impacto    | 7.433                                | 6     | 1.919.416             | 6     | 99,44           | 8     | 100,96   | 6                  |
| XGN5202    | 7.382                                | 7     | 1.842.181             | 5     | 102,62          | 4     | 100,18   | 8                  |
| Dow 2B710  | 7.359                                | 8     | 1.962.230             | 7     | 100,61          | 5     | 100,74   | 7                  |
| Dow 2B587  | 7.932                                | 3     | 1.362.186             | 3     | 100,4           | 6     | 109,43   | 3                  |
| P 30F35    | 8.292                                | 1     | 693.794               | 1     | 110,34          | 1     | 113,72   | 1                  |
| P 30K73    | 7.773                                | 4     | 1.439.765             | 4     | 104,80          | 3     | 106,91   | 4                  |
| P 30S40    | 8.116                                | 2     | 1.236.857             | 2     | 105,21          | 2     | 111,48   | 2                  |
| Maximus    | 7.337                                | 9     | 2.042.953             | 8     | 98,041          | 9     | 99,06    | 9                  |
| Somma      | 7.183                                | 10    | 2.337.502             | 9     | 96,86           | 10    | 98,46    | 10                 |
| Cultivar   | Média nos ambientes                  | Posto | Ambiente Favorável    |       |                 |       |          |                    |
|            | favoráveis (kg ha <sup>-1</sup> )    |       | P <sub>if</sub>       | Posto | I <sub>if</sub> | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| AS-1575    | 8.983                                | 9     | 2.350.682             | 11    | 98,91           | 10    | 100,97   | 9                  |
| AS-1567    | 9.671                                | 4     | 1.407.770             | 3     | 106,83          | 4     | 108,95   | 4                  |
| AS-1570    | 9.400                                | 5     | 1.689.855             | 5     | 105,84          | 5     | 107,47   | 5                  |
| Impacto    | 8.929                                | 10    | 2.124.733             | 9     | 98,95           | 9     | 100,85   | 10                 |
| XGN5202    | 9.008                                | 8     | 2.120.118             | 8     | 103,43          | 7     | 104,53   | 7                  |
| 2 A 525    | 9.029                                | 7     | 2.072.966             | 7     | 101,9           | 8     | 103,41   | 8                  |
| Dow 2B587  | 9.712                                | 3     | 1.469.373             | 4     | 109,15          | 2     | 110,96   | 2                  |
| P 30F35    | 9.964                                | 2     | 747.930               | 2     | 108,07          | 3     | 110,81   | 3                  |
| P 30K73    | 9.351                                | 6     | 1.773.341             | 6     | 104,81          | 6     | 106,49   | 6                  |
| P 30S40    | 10.243                               | 1     | 484.087               | 1     | 115,03          | 1     | 117,02   | 1                  |
| Cultivar   | Média nos ambientes                  | Posto | Ambiente Desfavorável |       |                 |       |          |                    |
|            | desfavoráveis (kg ha <sup>-1</sup> ) |       | P <sub>id</sub>       | Posto | I <sub>id</sub> | Posto | Proposto | Posto <sup>1</sup> |
| Maximus    | 5.910                                | 7     | 1.852.051             | 7     | 100,34          | 6     | 102,64   | 9                  |
| Impacto    | 6.062                                | 5     | 1.731.208             | 6     | 100,21          | 7     | 103,50   | 5                  |
| XGN5202    | 5.891                                | 9     | 1.587.405             | 5     | 101,92          | 4     | 103,87   | 4                  |
| Dow 2B710  | 6.024                                | 6     | 1.527.987             | 4     | 102,40          | 3     | 105,01   | 3                  |
| Dow 2B587  | 6.300                                | 3     | 1.263.930             | 3     | 95,55           | 14    | 102,35   | 10                 |
| GNSX2060   | 5.785                                | 12    | 1.942.785             | 10    | 100,71          | 5     | 102,91   | 7                  |
| P 30F35    | 6.759                                | 1     | 644.170               | 1     | 112,38          | 1     | 115,99   | 1                  |
| P 30K73    | 6.327                                | 2     | 1.133.987             | 2     | 105,82          | 2     | 109,46   | 2                  |
| P 30S40    | 6.167                                | 4     | 1.926.896             | 8     | 98,00           | 11    | 103,46   | 6                  |
| CMS 2C17EC | 5.905                                | 8     | 2.027.217             | 11    | 99,83           | 8     | 102,87   | 8                  |

<sup>1</sup>As dez cultivares listadas foram obtidas pelos postos 1 a 10 pelo método proposto.

**Tabela 4.** Coeficiente de correlação de Spearman entre as posições de indicação das cultivares de milho pelos métodos de Lin e Binns (1988) com decomposição, Annicchiarico (1992) modificado e método proposto.

| Safrá 2004/2005                |              |                              |                                |            |
|--------------------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|------------|
| Método                         | Ambiente     | Método                       |                                |            |
|                                |              | Lin e Binns com decomposição | Annicchiarico com decomposição | Proposto   |
| Média                          | Geral        | - 0,9801**                   | 0,9748**                       | 0,9886**   |
|                                | Favorável    | - 0,9886**                   | 0,9748**                       | 0,9871**   |
|                                | Desfavorável | - 0,8180**                   | 0,8922**                       | 0,9421**   |
| Lin e Binns com decomposição   | Geral        |                              | - 0,9949**                     | - 0,9759** |
|                                | Favorável    |                              | - 0,9808**                     | - 0,9888** |
|                                | Desfavorável |                              | - 0,7796**                     | - 0,8030** |
| Annicchiarico com decomposição | Geral        |                              |                                | 0,9921**   |
|                                | Favorável    |                              |                                | 0,9962**   |
|                                | Desfavorável |                              |                                | 0,9855**   |
| Safrá 2005/2006                |              |                              |                                |            |
| Método                         | Ambiente     | Método                       |                                |            |
|                                |              | Lin e Binns com decomposição | Annicchiarico com decomposição | Proposto   |
| Média                          | Geral        | - 0,9884**                   | 0,9764**                       | 0,9612**   |
|                                | Favorável    | - 0,9881**                   | 0,9724**                       | 0,9833**   |
|                                | Desfavorável | - 0,9611**                   | 0,9000**                       | 0,9294**   |
| Lin e Binns com decomposição   | Geral        |                              | - 0,9757**                     | - 0,9715** |
|                                | Favorável    |                              | - 0,9788**                     | - 0,9832** |
|                                | Desfavorável |                              | - 0,9506**                     | - 0,9608** |
| Annicchiarico com decomposição | Geral        |                              |                                | 0,9315**   |
|                                | Favorável    |                              |                                | 0,9962**   |
|                                | Desfavorável |                              |                                | 0,9928**   |
| Safrá 2006/2007                |              |                              |                                |            |
| Método                         | Ambiente     | Método                       |                                |            |
|                                |              | Lin e Binns com decomposição | Annicchiarico com decomposição | Proposto   |
| Média                          | Geral        | - 0,9782**                   | 0,9486**                       | 0,9906**   |
|                                | Favorável    | - 0,9906**                   | 0,9762**                       | 0,9832**   |
|                                | Desfavorável | - 0,9451**                   | 0,9451**                       | 0,9742**   |
| Lin e Binns com decomposição   | Geral        |                              | - 0,9678**                     | - 0,9722** |
|                                | Favorável    |                              | - 0,9781**                     | - 0,9830** |
|                                | Desfavorável |                              | - 0,9607**                     | - 0,9715** |
| Annicchiarico com decomposição | Geral        |                              |                                | 0,9535**   |
|                                | Favorável    |                              |                                | 0,9973**   |
|                                | Desfavorável |                              |                                | 0,9924**   |

Nota-se que as três metodologias apresentam altos valores do coeficiente de correlação e significativos a 1%. Isto demonstra que qualquer das metodologias pode ser usada. No entanto, pelas considerações apresentadas anteriormente, aconselha-se usar a metodologia proposta neste trabalho.

Salientando a importância da indicação de cultivares sem desassociar a média de produção, além do anseio de se ter pequeno número de estatísticas e a facilidade de interpretação dos resultados (SCHMILDT; KRAUSE, 2003) além da análise mais criteriosa em função do número de ambientes avaliados, a metodologia proposta torna-se satisfatória. A posição relativa das cultivares, associada ao seu índice de confiança, de fácil visualização, fornece também mais segurança na indicação das cultivares para cada tipo de ambiente.

## Conclusão

A metodologia proposta apresenta as vantagens de valorizar mais os desvios apresentados entre os ambientes, por levar em consideração o número de ambientes em análise; a nova metodologia

apresenta maior nível de confiança, possibilitando menor erro do tipo I; a metodologia proposta apresenta os resultados numéricos do índice de confiança de mesmo valor que os resultados do método de Annicchiarico (1992) modificado (SCHMILDT; CRUZ, 2005) quando o número de ambientes em comparação for igual a seis; existe alta correlação entre os resultados de indicação das cultivares pelos métodos de Lin e Binns modificado (CRUZ; CARNEIRO, 2006), Annicchiarico modificado por Schmildt e Cruz (2005) e método proposto; propõe-se usar o método proposto para indicação de cultivares de milho.

## Referências

- ABREU, S. C. A.; FERREIRA, D. F.; GURGEL, F. L.; ABREU, A. F. B. Extensão bivariada do índice de confiabilidade univariado para avaliação da estabilidade fenotípica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 1047-1052, 2004.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v. 46, n. 1, p. 269-278, 1992.

- ANNICCHIARICO, P. **Genotype x environment interactions**: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. Rome: Food and Agriculture Organization, 2002.
- BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p. 195-203, 2007.
- CAPRISTO, P. R.; RIZZALLI, R. H.; ANDRADE, F. H. Ecophysiological yield components of maize hybrids with contrasting maturity. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 4, p. 1111-1118, 2007.
- CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. O. V.; DIAS, L. A. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 193-201, 2007.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; PERECIN, D.; MALHEIROS, E. B.; GUADAGNIN, J. P. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 571-578, 2007.
- CRUZ, C. D. **Programa genes**: biometria. Viçosa: UFV, 2006.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. v. 2.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. rev. Viçosa: UFV, 2001.
- HANSON, J. D.; LIEBIG, M. A.; MERRILL, S. D.; TANAKA, D. L.; KRUPINSKY, J. M.; STOTT, D. E. Dynamic cropping systems: increasing adaptability amid an uncertain future. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 4, p. 939-943, 2007.
- HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. **Euphytica**, v. 47, n. 3, p. 189-194, 1990.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.
- MATSUO, E.; SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B.; CRUZ, C. D.; ODA, M. C.; TEIXEIRA, R. C. Análise da estabilidade e previsibilidade da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Cristalina, Goiás. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 191-196, 2008.
- MORA, F.; PUPIM JÚNIOR, O.; SCAPIM, C. A. Prediction of cultivar effects on cotton yield in the presence of genotype-environment interaction. **Ciencia Investigación Agraria**, v. 34, n. 1, p. 7-16, 2007.
- 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**, v. 35, n. 11, p. 2213-2222, 2000.
- SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D. Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Annicchiarico (1992). **Revista Ceres**, v. 52, n. 299, p. 45-58, 2005.
- SCHMILDT, E. R.; KRAUSE, W. Metodologia univariada e multivariada para análise de adaptabilidade e estabilidade visando à indicação de cultivares de milho. **Revista Ceres**, v. 50, n. 290, p. 471-487, 2003.
- SCHMILDT, E. R.; KRAUSE, W.; CRUZ, C. D. Melhoria na eficiência dos experimentos de indicação de cultivares de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 1, p. 72-80, 2006.
- SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.1, p. 23-30, 2006.
- SILVA, F. L.; SOARES, P. C.; CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; SOARES, A. A.; CORNÉLIO, M. O. C.; REIS, M. S. Methods of adaptability and stability analysis in irrigated rice genotypes in Minas Gerais, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, n. 2, p. 119-126, 2008.
- SPATARO, G.; NEGRI, V. Adaptability and variation in *Isatis tinctoria* L.: a new crop for Europe. **Euphytica**, v. 163, n. 1, p. 89-102, 2008.

Received on November 19, 2008.

Accepted on March 6, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.