

# Contribuição da heterogeneidade de linhas de regressão para a recomendação de novas cultivares

Rodolfo Schmit<sup>(1)</sup>, Nicole Trevisani<sup>(1)</sup>, Rita Carolina de Melo<sup>(1)</sup>, Alessandra Veiga<sup>(1)</sup>,  
Mattheus Beck<sup>(1)</sup>, Jefferson Luís Meirelles Coimbra<sup>(1)</sup> e Altamir Frederico Guidolin<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina, Instituto de Melhoramento e Genética Molecular, Avenida Luís de Camões, nº 2.090, CEP 88520-000 Lages, SC, Brasil. E-mail: [rodolfoschmit09@gmail.com](mailto:rodolfoschmit09@gmail.com), [nicoletrevisani88@gmail.com](mailto:nicoletrevisani88@gmail.com), [rita\\_carol\\_mel@hotmail.com](mailto:rita_carol_mel@hotmail.com), [veiga\\_ale@hotmail.com](mailto:veiga_ale@hotmail.com), [mattheusbeck@hotmail.com](mailto:mattheusbeck@hotmail.com), [coimbrajefferson@gmail.com](mailto:coimbrajefferson@gmail.com), [altamirguidolin@gmail.com](mailto:altamirguidolin@gmail.com)

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi evidenciar a contribuição da análise da heterogeneidade das linhas de regressão para a recomendação de novas cultivares, pela metodologia de Eberhart & Russell. Um experimento com dez genótipos de arroz, avaliados em oito ambientes, foi utilizado para ilustração da metodologia. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com três repetições. A soma dos quadrados da interação genótipo x ambiente (GxA) foi decomposta para avaliação da heterogeneidade das linhas de regressão e dos desvios acumulados da linearidade. A heterogeneidade das linhas de regressão foi analisada com o uso do teste t sobre os coeficientes de regressão linear dos genótipos. Os dois componentes ortogonais da interação GxA foram significativos. A análise da heterogeneidade das linhas de regressão permitiu detectar incoerências na adaptabilidade dos genótipos, o que diminui as chances de recomendações equivocadas de cultivares. Os genótipos foram classificados de acordo com a eficiência da metodologia de Eberhart & Russell em explicar a natureza do desempenho genotípico diante das mudanças nos ambientes. A avaliação da heterogeneidade das linhas de regressão contribui para a recomendação mais efetiva de novas cultivares com a metodologia de Eberhart & Russell.

**Termos para indexação:** adaptabilidade e estabilidade fenotípica, Eberhart & Russell, interação genótipo x ambiente, produtividade de grãos.

## Contribution of the heterogeneity of regression lines to the recommendation of new cultivars

**Abstract** – The objective of this work was to show the contribution of the analysis of the heterogeneity of regression lines to the recommendation of new cultivars by the Eberhart & Russell method. An experiment with ten rice genotypes, evaluated in eight environments, was used to illustrate the methodology. A randomized complete block design, with three replicates, was used. The sum of squares of genotype x environment (GxA) interaction was decomposed to evaluate the heterogeneity of regression lines and the accumulated deviations from linearity. The heterogeneity of regression lines was analyzed using the t-test on the linear regression coefficients of the genotypes. The two orthogonal components of GxA interaction were significant. The heterogeneity analysis of regression lines made it possible to detect inconsistencies in genotype adaptability, which reduced the chances of misleading recommendations of cultivars. Genotypes were ranked according to the efficiency of the Eberhart & Russell methodology to explain the nature of genotypic performance over changing environments. The evaluation of the heterogeneity of regression lines contributes to more effective recommendations of new cultivars with the use of the Eberhart & Russell methodology.

**Index terms:** phenotypic adaptability and stability, Eberhart & Russell, genotype x environment interaction, grain yield.

### Introdução

A metodologia de Eberhart & Russell (1966) simplifica a interpretação da interação genótipo x ambiente (GxA) pelo uso de regressões lineares (Pereira et al., 2009). No entanto, essa interação

difícilmente pode ser explicada de modo completo por um comportamento linear (Silva Filho et al., 2008). Assim, a soma dos quadrados da interação é decomposta em dois componentes ortogonais, representados pela heterogeneidade das linhas de regressão, ajustadas para cada genótipo (fração linear),

e pelos desvios acumulados dos valores observados em relação às linhas de regressão (fração não linear) (Perkins & Jinks, 1968).

A fração não linear é, frequentemente, significativa e de elevada magnitude (Machado et al., 2003), o que evidencia resposta dos genótipos aos ambientes não explicada pelas regressões, ou, também, alta variabilidade genotípica (Domingues et al., 2013). A estimativa dessa fração é feita para cada genótipo a partir dos desvios da regressão ( $s_a^2$ ) e dos coeficientes de determinação  $R^2$  (Melo et al., 2007). Esses parâmetros permitem inferir sobre a estabilidade fenotípica dos genótipos e estão intrinsecamente relacionados à eficiência da regressão linear em explicar a interação GxA (Ramos et al., 2011). Portanto, a interpretação incorreta dos desvios da regressão pode implicar na recomendação de genótipos que não maximizaria a expressão fenotípica sobre os efeitos dos ambientes (Nassir & Ariyo, 2011).

Até mesmo o componente linear, em que a metodologia se baseia para as inferências, não é completamente explorado pelo uso da metodologia de Eberhart & Russell (1966), uma vez que se refere apenas às respostas individuais dos genótipos nos diferentes ambientes (Magalhães et al., 2004). Assim, a metodologia não considera e nem testa a diferença entre os coeficientes das regressões lineares, ou seja, ela não possibilita a interpretação da heterogeneidade entre as linhas de regressão (Vasconcelos et al., 2010) que, quando contrastadas, podem ser paralelas ou coincidentes (Kleinbaum et al., 2013).

Diferentes procedimentos estatísticos são usados para testar e agrupar essas linhas de regressão, como: métodos da identidade de modelos (Vasconcelos et al., 2010); variáveis Dummy; análise de variância (Magalhães et al., 2004); análise multivariada de conglomerado (Silva, 1995b); teste de comparações múltiplas (Piana et al., 1999; Silva, 1995a); e, também, o teste t (Steel & Torrie, 1960). A heterogeneidade entre linhas de regressão, quando avaliada pelo teste t, contrasta os coeficientes de regressão par a par, o que permitiria inferências específicas entre os genótipos contrastados (Guedes et al., 2001). Isso possibilitaria inferências sobre se a diferença nos acréscimos de rendimento de grãos, com a melhoria do ambiente, realmente ocorre em razão de diferenças genotípicas (Weisberg, 2014). Assim, podem-se detectar incoerências nos resultados de adaptabilidade

dos genótipos, o que evitaria a recomendação de genótipos não adequados aos ambientes analisados (Vasconcelos et al., 2010). Portanto, o uso do teste t, para a avaliação da heterogeneidade entre as linhas de regressão, pode representar uma contribuição significativa para aumentar a efetividade da metodologia de Eberhart & Russell (1966).

Os genótipos podem ser classificados quanto à eficiência com que a metodologia de Eberhart & Russell (1966) descreve a natureza de seus desempenhos genotípicos em meio a variações ambientais. Assim, se não há diferenças entre os coeficientes de regressão de um genótipo em relação aos demais, o emprego da metodologia fica comprometido para esse genótipo, uma vez que as eventuais diferenças nos desempenhos observados seriam causadas por variações de ordem não linear (Perkins & Jinks, 1968). Ao mesmo tempo, genótipos que apresentam diferenças nos coeficientes de regressão e desvios não significativos são promissores para o emprego da metodologia, já que seus desempenhos genotípicos podem ser explicados eficientemente pelas regressões lineares (Silva, 1995a). Há ainda uma terceira possibilidade, em que genótipos regulares teriam seu desempenho genotípico representado por fração linear e não linear significativas.

O objetivo deste trabalho foi evidenciar a contribuição da avaliação da heterogeneidade das linhas de regressão, para a recomendação de novas cultivares por meio da metodologia de Eberhart & Russell (1966).

## Material e Métodos

A adição do estudo da heterogeneidade das linhas de regressão à metodologia de Eberhart & Russell (1966) foi ilustrada com o uso de dados provenientes de um programa de melhoramento genético de arroz (*Oryza sativa* L.), composto por 10 genótipos, avaliados em oito ambientes agrícolas. A produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi avaliada em delineamento de blocos completos ao acaso, com três repetições, segundo o modelo estatístico:  $y_{ijk} = \mu + \text{bloco (ambiente)}_{k(j)} + \text{genótipo}_i + \text{ambiente}_j + \text{genótipo} \times \text{ambiente}_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ .

A análise de variância foi realizada a 5% de probabilidade, e o efeito da interação GxA foi desdobrado nos efeitos de heterogeneidade das linhas de regressão linear ( $\beta_{ia}$ ) e desvios acumulados das

regressões lineares ( $\delta_{ij}$ ), conforme apresentado por Perkins & Jinks (1968) como:  $G \times A = \beta_{ia_j} + \delta_{ij}$ .

O desempenho genotípico foi avaliado conforme Eberhart & Russell (1966). Além disso, a heterogeneidade de linhas de regressão foi analisada com uso do teste t entre os coeficientes de regressão linear dos genótipos, conforme a seguinte equação apresentada por Steel & Torrie (1960):  $t = \frac{\beta_{11} - \beta_{12}}{\sqrt{s_p^2 (1/SQX_{1j} + 1/SQX_{2j})}}$ , em que  $\beta_{11}$  e  $\beta_{12}$  correspondem aos coeficientes de regressão contrastados;  $SQX_{1j}$  e  $SQX_{2j}$ , à soma dos quadrados dos índices de ambiente; e  $s_p^2$ , à variância dos erros de estimativa dos coeficientes de regressão contrastados. Essa variância pode ser calculada por:

$$s_p^2 = \frac{\left\{ SQY_{1j} - \left[ \frac{(SPXY_{1j})^2}{SQX_{1j}} \right] \right\} + \left\{ SQY_{2j} - \left[ \frac{(SPXY_{2j})^2}{SQX_{2j}} \right] \right\}}{n_1 - 2 + n_2 - 2},$$

em que  $SQY_{1j}$  e  $SQY_{2j}$  são as somas dos quadrados dos valores de produtividade de grãos respectivos aos genótipos contrastados;  $SPXY_{1j}$  e  $SPXY_{2j}$ , a soma dos produtos dos índices de ambiente e os valores de produtividade de grãos respectivos aos genótipos contrastados; e  $n_1$  e  $n_2$ , o número de pares de valores que compõem a regressão linear (quantidade de ambientes avaliados).

Este trabalho propõe que a natureza do desempenho genotípico pode ser abordada de acordo com três hipóteses alternativas, quanto ao potencial de uso da metodologia de Eberhart & Russell (1966), na avaliação da adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos genótipos. Assim, os genótipos com heterogeneidade na linha de regressão, com desvios de regressão não significativos, seriam classificados como promissores; genótipos com heterogeneidade na linha de regressão, com desvios de regressão simultaneamente significativos, seriam regulares; e os genótipos sem heterogeneidade na linha de regressão, com desvios de regressão significativos, seriam classificados como imprecisos.

## Resultados e Discussão

O efeito da interação  $G \times A$  foi significativo a 5% de probabilidade, conforme análise de variância para o caráter rendimento de grãos (Tabela 1). Além

disso, a decomposição da soma dos quadrados da interação evidenciou que tanto a heterogeneidade das linhas de regressão quanto os desvios acumulados foram significativos. Estes resultados indicam que as regressões lineares são efetivas para representar o desempenho genotípico das cultivares avaliadas (Suinaga et al., 2006). No entanto, a presença de uma fração não linear significativa indica ausência de linearidade em pelos menos uma equação de regressão (Murakami et al., 2004). Nessas circunstâncias, as incoerências das respostas individuais dos genótipos devem ser detectadas e avaliadas quanto a seu significado biológico (Silva, 1995b).

Os genótipos, praticamente, não apresentaram variabilidade fenotípica quanto à produtividade de grãos, na média dos ambientes (Tabela 2). Houve diferença significativa apenas quanto ao genótipo 9. Assim, os genótipos avaliados apresentaram rendimento de grãos consistentemente similar, e sua seleção deve ser realizada apenas de acordo com os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, conforme Silva & Duarte (2006).

Os genótipos 1, 7 e 8 apresentaram adaptabilidade ampla (Tabela 2), com perdas e ganhos na produtividade de grãos equilibrados conforme os estímulos do ambiente (Dias et al., 2009). Os genótipos 3, 5 e 6 apresentaram coeficiente de regressão linear acima da unidade e, portanto, possuem adaptabilidade a ambientes favoráveis. Esses genótipos apresentam maior aumento de produtividade em ambientes favoráveis, com emprego de alta tecnologia (Reginato Neto et al., 2013). Os genótipos 2, 4, 9 e 10 apresentaram adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e, portanto, teriam menor perda de produtividade de grãos, se fossem submetidos a ambientes rústicos (Domingues et al., 2013).

Quanto à estabilidade fenotípica, os genótipos 1, 2, 3 e 4 não apresentaram desvios de regressão diferentes de zero, a 5% de probabilidade (Tabela 2). Portanto, esses genótipos podem ter seu desempenho genotípico eficientemente explicado por regressões lineares apenas, com ótima previsibilidade (Oliveira et al., 2006). Os demais genótipos – 5, 6, 7, 8, 9 e 10 – não apresentaram estabilidade fenotípica, porém os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), com exceção do genótipo 10, favoreceriam a possibilidade de seleção, mesmo em presença de desvios de regressões significativos (Reginato Neto et al., 2013).

As inferências realizadas e discutidas, até aqui, foram feitas conforme o uso tradicional da metodologia proposta por Eberhart & Russell (1966), com os parâmetros analisados de acordo com a resposta individual do genótipo à mudança de ambiente (Peluzio et al., 2010). Com a adição da análise de heterogeneidade das linhas de regressão, no entanto, podem-se agregar informações, como: as diferenças de ganhos no rendimento de grãos, com a melhoria do ambiente entre os genótipos (Guedes et al., 2001); e a classificação do desempenho genotípico, conforme a eficiência da metodologia de Eberhart & Russell (1966).

Assim, os genótipos 1, 2, 3 e 4 seriam classificados como promissores, quanto ao emprego da metodologia (Tabela 2), uma vez que somente a componente heterogeneidade entre as linhas de

regressão foi significativa. Os contrastes entre os genótipos 1 vs. 2 e 1 vs. 4 evidenciaram diferenças significativas entre as linhas de regressão (Tabela 3). Assim, o acréscimo de produtividade de grãos, com a melhoria do ambiente gerado pelo genótipo 1, foi 20% superior ao do genótipo 2 e 45% superior ao do genótipo 4. Entretanto, os coeficientes de regressão dos genótipos 1 e 3 não diferiram significativamente. Portanto, os 8% de acréscimo da produtividade de grãos observados seriam decorrentes da variação nos desvios de regressão e dos erros experimentais (Montgomery et al., 2012). Esta componente foi responsável por determinar diferenças da classificação de adaptabilidade dos genótipos 1 e 3. No entanto, uma vez que os dois genótipos respondem com os mesmos ganhos de produtividade com a melhoria

**Tabela 1.** Análise de variância univariada de dez genótipos, avaliados em oito ambientes, quanto à produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), com decomposição do efeito da interação genótipo x ambiente, pelo método de regressão linear simples (Eberhart & Russell, 1966).

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrados médios
Bloco (ambiente)	16	1.480.420	92.526
Genótipo	9	6.466.506	718.501*
Ambiente	7	212.864.879	30.409.268*
Genótipo x ambiente	63	47.040.546	746.675*
Heterogeneidade das retas	9	8.937.704	993.078*
Desvios em relação à regressão	54	38.102.842	7.189.922*
Erro	140	11.892.947	84.950

<sup>ns</sup>Não significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

**Tabela 2.** Estimativa dos parâmetros de estabilidade fenotípica e adaptabilidade para dez genótipos, avaliados em oito ambientes, significância da heterogeneidade entre as linhas de regressão ( $\beta_{ij}$ ) e classificação dos genótipos quanto ao uso da metodologia, conforme Eberhart & Russell (1966)<sup>(1)</sup>.

Genótipo	$\beta_0$	$\beta_1$	$s_d^2$	R <sup>2</sup>	$\beta_{ij}$	Classificação
1	4.688AB	1,06 <sup>ns</sup>	14.322 <sup>ns</sup>	0,97	*	Promissor
2	4.786AB	0,86*	22.334 <sup>ns</sup>	0,99	*	Promissor
3	4.754AB	1,14*	26.801 <sup>ns</sup>	0,97	*	Promissor
4	4.700AB	0,61*	29.614 <sup>ns</sup>	0,89	*	Promissor
5	4.624AB	1,24*	74.484*	0,94	*	Regular
6	4.559B	1,35*	188.120*	0,91	*	Regular
7	4.803AB	1,08 <sup>ns</sup>	117.135*	0,91	*	Regular
8	4.850A	0,97 <sup>ns</sup>	214.639*	0,83	*	Regular
9	4.240C	0,84*	212.012*	0,80	<sup>ns</sup>	Impreciso
10	4.641AB	0,86*	1.055.168*	0,46	<sup>ns</sup>	Impreciso

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. <sup>ns</sup>Não significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade.  $\beta_0$ , produtividade de grãos na média dos oito ambientes;  $\beta_1$ , coeficiente de regressão linear, avaliado pelo teste t ( $h_0: \beta_1=1$ );  $s_d^2$ , variância nos desvios dos valores observados, em relação às retas de regressão linear, avaliada pelo teste F ( $h_0: s_d^2=0$ ); e  $\beta_{ij}$ , heterogeneidade entre as linhas de regressão, avaliada pelo teste t, conforme Steel & Torrie (1960).

no ambiente (Silva, 1995a), ambos poderiam ser selecionados e recomendados para cultivo, em todos os ambientes estudados (amplamente adaptáveis).

Nos casos em que ambas as componentes da interação foram significativas, como para os genótipos 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2), estes seriam classificados como “regulares” quanto ao emprego da metodologia e deveriam ter seu desempenho genotípico interpretado com maior cautela, em razão da significância do componente não linear. Os coeficientes de regressão não diferiram significativamente entre esses genótipos (Tabela 3). Portanto, apesar de a variação entre os coeficientes ter chegado a 38%, no contraste 6 vs. 8, ela não ocorreu em razão de diferenças no desempenho genotípico conforme o estímulo pela melhoria do ambiente. Entretanto, o teste t detectou diferenças dos genótipos regulares, em comparação aos genótipos 2 e 4. O contraste 4 vs. 8 apresentou diferença de 36%, significativa a 5% de probabilidade. Este resultado é explicado pelos menores desvios de regressão no genótipo 4, que teriam conferido maior eficiência na discriminação do desempenho genotípico.

Para genótipos regulares, os resultados do teste t podem ser explicados, de fato, pela distinção no acréscimo do rendimento de grãos conforme o índice de ambiente (Steel & Torrie, 1960). No entanto, a significância da fração não linear da metodologia pode contribuir para a não detecção de inferências substanciais (Perkins & Jinks, 1968). Assim, para esses genótipos, a recomendação deve ser feita nos casos em que apresentassem produtividade média de grãos superior. Portanto, a recomendação de genótipos regulares, com

a presença significativa de componente inexplicada da interação GxA, não compensaria, quando o desempenho fenotípico não fosse diferente do apresentado por genótipos promissores (certamente estáveis).

Finalmente, observou-se que os genótipos 9 e 10 não evidenciaram heterogeneidade nas linhas de regressão e foram classificados como “imprecisos” (Tabela 2). Portanto, a interação desses genótipos com o ambiente se explica apenas pelos desvios da regressão e não apresenta componente linear significativo. Independentemente dos contrastes que envolvem genótipos imprecisos e da magnitude da diferença entre os coeficientes de regressão, não se detectou diferença em razão do desempenho genotípico, o que evidencia inadequação do método de regressão linear simples (Silva, 1995a), nesses casos. Nessa situação, o teste entre coeficientes de regressão não consegue detectar nenhuma informação, e a classificação da adaptabilidade não possui credibilidade estatística (Kleinbaum et al., 2013).

Se apenas a fração não linear é significativa sobre o desempenho fenotípico dos genótipos, então não há qualquer relação entre o índice de ambiente e a produtividade de grãos (Perkins & Jinks, 1968). Portanto, o contraste entre o genótipo 6 e 10, com diferença não significativa de 49% (Tabela 3), por exemplo, não poderia ser adequadamente explicado pela resposta diferencial no desempenho genotípico diante da melhoria do ambiente. Entretanto, a componente não linear da interação pode não ser simplesmente um desempenho inerentemente irregular do genótipo, mas indicativo de um padrão de resposta diferente em relação

**Tabela 3.** Valor t dos contrastes entre os coeficientes de regressão (Steel & Torrie, 1960) de dez genótipos, avaliados em oito ambientes, conforme metodologia de Eberhart & Russell (1966)<sup>(1)</sup>.

Genótipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	0,20*	-0,08 <sup>ns</sup>	0,45*	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
2	0,08	-	-0,28*	0,25*	-0,38*	-0,49*	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
3	0,12	0,09	-	0,53*	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
4	0,12	0,09	0,12	-	-0,63*	-0,74*	-0,47*	-0,36*	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>
5	0,14	0,12	0,15	0,15	-	-0,11 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
6	0,19	0,17	0,19	0,19	0,21	-	0,27 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>
7	0,16	0,14	0,16	0,17	0,18	0,22	-	0,11 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
8	0,20	0,18	0,20	0,20	0,22	0,25	0,23	-	0,13 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
9	0,20	0,18	0,20	0,20	0,22	0,25	0,23	0,26	-	-0,02 <sup>ns</sup>
10	0,39	0,38	0,39	0,39	0,40	0,42	0,41	0,42	0,42	-

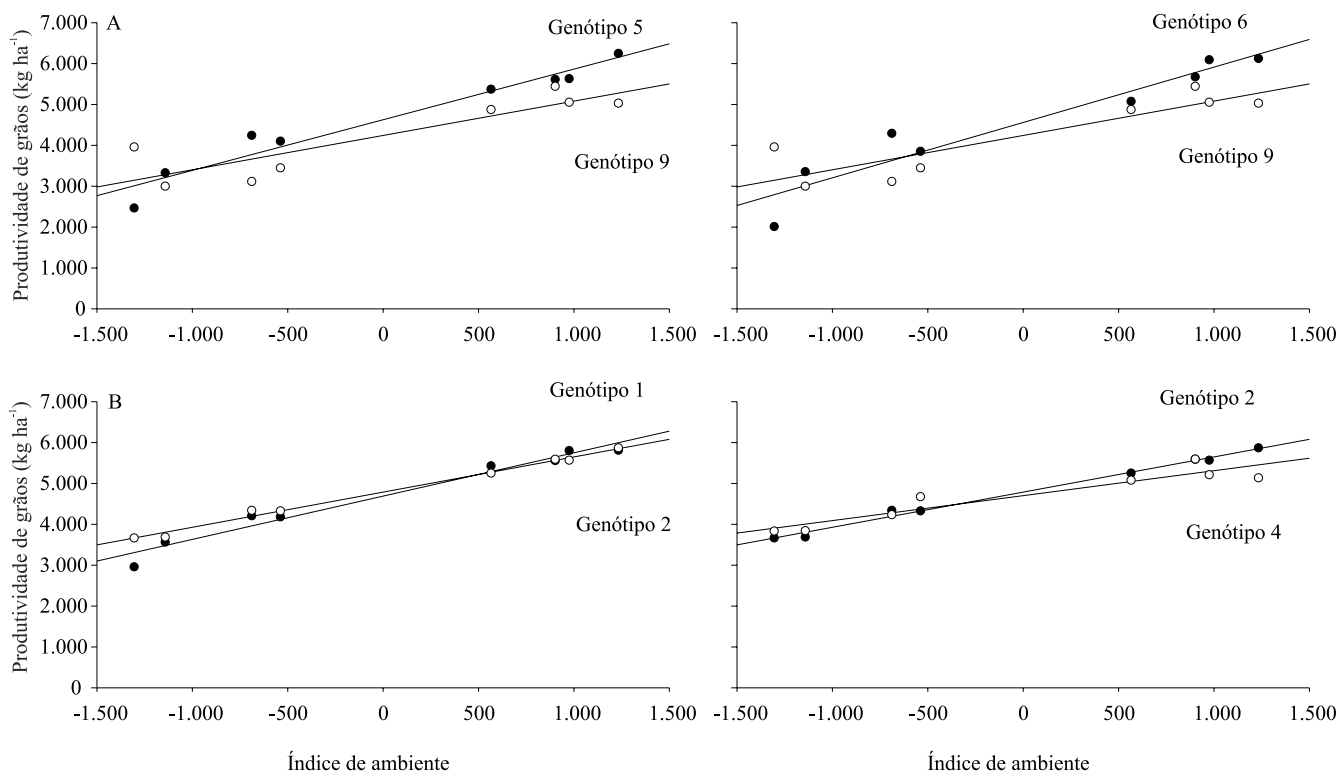
<sup>(1)</sup>Valores acima da diagonal principal correspondem à diferença entre os coeficientes de regressão, e os abaixo da diagonal, à variância dos erros da estimativa dos coeficientes de regressão ( $S_{\hat{\beta}}^2$ ). <sup>ns</sup>Não significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t.

à maioria do grupo com o qual é comparado (Perkins & Jinks, 1968).

Os contrastes 5 vs. 9 e 6 vs. 9 apresentaram diferença não significativa entre os coeficientes de regressão (0,40 e 0,51, respectivamente) (Tabela 3). A possível explicação para o resultado, conforme ilustrado na Figura 1 A, é que, apesar de as retas serem aparentemente divergentes, os pontos que as compõem estão dispersos em razão de uma expressiva variância em relação à regressão (Weisberg, 2014). Portanto, a variação de até 50% de acréscimo no rendimento de grãos não pode ser atribuída inerentemente aos diferentes desempenhos genotípicos. Essa constatação implica que recomendações equivocadas podem ser feitas na ausência dessas informações. No caso, com o uso do método de Eberhart & Russell (1966) sem as alterações propostas no presente trabalho, o genótipo 6 seria indicado para ambientes favoráveis, enquanto

o genótipo 9 seria recomendado para ambientes desfavoráveis. Essa recomendação, no entanto, poderia causar prejuízos aos agricultores, já que consiste em classificação duvidosa da adaptabilidade.

Em situação oposta, os contrastes 1 vs. 2 e 2 vs. 4 apresentam inclinações com menores diferenças (0,20 e 0,25) do que no exemplo anterior, mas significativamente diferentes a 5% de probabilidade (Figura 1 B), pelo fato de não ser significativa a componente não linear, representada pelos desvios em relação à regressão. Neste caso, a probabilidade de classificações errôneas, quanto à adaptabilidade de cada genótipo, seriam reduzidas, mesmo que estes apresentassem menores diferenças no desempenho genotípico diante da variação ambiental (Montgomery et al., 2012). Fica, portanto, evidente a importância da complementação da análise da metodologia Eberhart & Russell (1966), pelo teste entre os coeficientes de regressão dos genótipos.



**Figura 1.** Retas e desvios entre produtividade de grãos e índice de ambiente em relação às regressões lineares (Eberhart & Russell, 1966): A, linhas de regressão com coeficientes de regressão não significativos a 5% de probabilidade, pelo teste t; e B, linhas de regressão com coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade.

## Conclusão

O estudo da heterogeneidade de linhas de regressão agrega informações relevantes à compreensão dos diferentes padrões de adaptabilidade e estabilidade, e, conseqüentemente, contribui para recomendação efetiva de novas cultivares.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (Fapesc), pela concessão de bolsas e pelo apoio financeiro.

## Referências

- DIAS, F.T.C.; PITOMBEIRA, J.B.; TEÓFILO, E.M.; BARBOSA, F. de S. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para o caráter rendimento de grãos em cultivares de soja para o Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p.129-134, 2009.
- DOMINGUES, L.S.; RIBEIRO, N.D.; MINETTO, C.; SOUZA, J.F. de; ANTUNES, I.F. Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.1065-1076, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n3p1065.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.
- GUEDES, T.A.; IVANQUI, I.L.; MARTINS, A.B.T. Comparando equações de regressão em dados da saúde. **Acta Scientiarum. Technology**, v.23, p.1531-1535, 2001. DOI: 10.4025/actascitechnol.v23i0.2794.
- KLEINBAUM, D.G.; KUPPER, L.L.; NIZAM, A.; ROSENBERG, E.S. **Applied regression analysis and other multivariable methods**. 5<sup>th</sup> ed. Boston: Cengage Learning, 2013. 1072p.
- MACHADO, J.R. de A.; PENNA, J.C.V.; FALLIERI, J.; SANTOS, P.G.; LANZA, M.A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de algodoeiro para características tecnológicas de fibra. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.7, p.673-683, 2003.
- MAGALHÃES, S.R.S.; VEIGA, R.D.; SÁFADI, T.; CIRILLO, M.Â.; MAGINI, M. Avaliação de métodos para a comparação de modelos de regressão por simulação de dados. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v.25, p.117-122, 2004. DOI: 10.5433/1679-0375.2004v25n2p117.
- MELO, L.C.; MELO, P.G.S.; FARIA, L.C. de; DIAZ, J.L.C.; DEL PELOSO, M.J.; RAVA, C.A.; COSTA, J.G.C. da. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.715-723, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000500015.
- MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A.; VINING, G.G. **Introduction to linear regression analysis**. 5<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012. 672p.
- MURAKAMI, D.M.; CARDOSO, A.A.; CRUZ, C.D.; BIZÃO, N. Consideração sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, v.34, p.71-78, 2004. DOI: 10.1590/S0103-84782004000100011.
- NASSIR, A.L.; ARIYO, O.J. Genotype x environment interaction and yield-stability analyses of rice grown in tropical inland swamp. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v.39, p.200-225, 2011.
- OLIVEIRA, G.V.; CARNEIRO, P.C.S.; CARNEIRO, J.E. de S.; CRUZ, C.D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.257-265, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000200010.
- PELUZIO, M.P.; AFFÉRI, F.S.; MONTEIRO, F.J.F.; MELO, A.V. de; PIMENTA, R.S. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.427-434, 2010. DOI: 10.1590/S1806-66902010000300015.
- PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L.C. de; COSTA, J.G.C. da; DÍAZ, J.L.C.; RAVA, C.A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.374-383, 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000400007.
- PERKINS, J.M.; JINKS, J.L. Environmental and genotype-environmental components of variability III. Multiple lines and crosses. **Heredity**, v.23, p.339-356, 1968. DOI: 10.1038/hdy.1968.48.
- PIANA, C.F. de B.; ANTUNES, I.F.; SILVA, J.G.C. da; SILVEIRA, E.P. Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.553-564, 1999. DOI: 10.1590/S0100-204X1999000400006.
- RAMOS, L.M.; SANCHES, A.; COTES, J.M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de genótipos de arroz, mediante duas metodologias de avaliação na Colômbia. **Acta Agronomica**, v.60, p.39-49, 2011.
- REGINATO NETO, A.; RAMOS JUNIOR, E.U.; GALLO, P.B.; FREITAS, J.G. de; AZZINI, L.E. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.512-519, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000300013.
- SILVA FILHO, J.L. da; MORELLO, C. de L.; FARIAS, F.J.C.; LAMAS, F.M.; PEDROSA, M.B.; RIBEIRO, J.L. Comparação de métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.349-355, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000300009.
- SILVA, J.G.C. da. Agrupamento de genótipos segundo a adaptabilidade ao ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.1141-1154, 1995b.
- SILVA, J.G.C. da. Análise da adaptabilidade através de regressão linear segmentada. I. Fundamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.435-448, 1995a.
- SILVA, W.C.J. e; DUARTE, J.B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa**

**Agropecuária Brasileira**, v.41, p.23-30, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000100004.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1960.

SUINAGA, F.A.; BASTOS, C.S.; RANGEL, L.E.P. Phenotypic adaptability and stability of cotton cultivars in Mato Grosso state, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.145-150, 2006.

VASCONCELOS, E.S. de; CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; BHERING, L.L.; ROSADO, T.B.; VASCONCELOS, F.S. de. Agrupamento de modelos de regressão da análise de adaptabilidade e estabilidade de genótipos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1357-1362, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010001200004.

WEISBERG, S. **Applied linear regression**. 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2014.

---

Recebido em 21 de outubro de 2014 e aprovado em 20 de abril de 2015