

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO DE GRÃOS EM AVEIA HEXAPLÓIDE

CLAUDIR LORENCETTI¹, FERNANDO IRAJÁ FÉLIX DE CARVALHO², JULIANO L. ALMEIDA³,
VOLMIR SERGIO MARCHIORO⁴, GIOVANI BENIN¹, IRINEU HARTWIG⁵

RESUMO - Dez constituições genéticas de aveia (*Avena sativa* L.) e doze ambientes foram utilizados para o estudo de adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos, visando discriminar os genótipos conforme seu comportamento e sua utilização em programas de melhoramento. O método estatístico adotado foi à regressão linear bissegmentada. A análise dos dados revelou significância da interação genótipo x ambiente e permitiu verificar que a variação entre ambientes contribuiu com maior parcela do que a variabilidade entre genótipos para a significância desta interação. Os resultados evidenciaram que o comportamento dos genótipos analisados foi diferenciado para os distintos ambientes, revelando existência de variabilidade genética entre os genótipos testados. Com exceção da UFRGS 7, todos os demais genótipos revelaram instabilidade de rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Avena sativa* L., regressão linear bissegmentada, interação genótipo x ambiente.

GRAIN YIELD ADAPTABILITY AND STABILITY IN HEXAPLOID OAT

ABSTRACT - Ten oat genotypes (*Avena sativa* L.) and twelve environments were tested to evaluate adaptability and stability of grain yield, to discriminate genotypes on different environments to utilize in plant breeding programs. The bissegmented linear regression was adopted as statistical method. The analysis showed not only that genotype x environment interaction was significant, as well that the environment variation contributed with larger portion than the variability among genotypes for the significance of this interaction. The results showed that the behavior of the analyzed genotypes was differentiated for the different environments, accepting existence of genetic variability among the tested genotypes. Except for UFRGS 7, all the other genotypes expressed grain yield instability.

Keys words: *Avena sativa* L., bissegmented linear regression, genotype x environment interaction.

¹Eng. Agr., Doutorando em Agronomia (Fitomelhoramento), Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Bolsista CNPq. E-mail: claudir@ufpel.tche.br/lorencetti@zipmail.com.br; bening@ufpel.tche.br

²Eng. Agr., (Ph.D.), Prof. do Depto. de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPel), Campus Universitário, Cx. Postal: 354, Cep: 96001-970, Pelotas/RS. E-mail: carvalho@ufpel.tche.br (Autor para correspondência)

³Eng. Agr., MSc., Pesquisador da Fundação Agrária do Paraná (FAPA), Entre Rios, Guarapuava/Paraná. E-mail: juliano@agraria.com.br.

⁴Eng. Agr., Doutor em Fitomelhoramento, Pesquisador da COODETEC

⁵Estudante do Curso de Agronomia da UFPel - Bolsista CNPq. E-mail: iriwig@ufpel.tche.br

Recebido para publicação em 17-01-2002

INTRODUÇÃO

A aveia é o quinto cereal mais cultivado no Brasil (FAOSTAT, 2001). Seu cultivo se estende de São Paulo e parte do Mato Grosso ao extremo sul do estado do Rio Grande do Sul. É uma cultura sensível a adversidades de ambientes, tanto abióticos como bióticos (solos pobres, deficiência hídrica, ataque de moléstias, principalmente a ferrugem da folha, entre outras). Tal característica tem resultado em baixas produtividades e grande instabilidade ao longo dos anos, acarretando desestímulo por parte dos produtores, desabastecimento e oscilação de preços.

Entre outras razões, essa sensibilidade da cultura pode ser associada à grande variabilidade das condições edafoclimáticas e ao uso de cultivares de baixa adaptabilidade aos diversos microclimas em que o cultivo da aveia é submetido nessas regiões.

A agricultura moderna demanda cultivares que, além de rendimento médio satisfatório, manifestem conveniente sensibilidade de resposta a variação de ambiente. É especialmente desejável uma cultivar que tenha capacidade não apenas de tirar proveito de ambientes melhorados ou mais favoráveis, mas, também, de produzir razoavelmente bem em ambientes adversos. Uma medida de resposta da produtividade ao ambiente que exprima esse conceito de ampla adaptabilidade é de elevada importância. Tal medida deveria ser utilizada como um critério adicional na avaliação de cultivares para recomendação, com vistas a diminuir os riscos e elevar o lucro dos agricultores (NOR e CADY, 1979). Para EAGLES e FREY (1977), a interação genótipo x ambiente (GxE) é um dos principais problemas para os programas de melhoramento por restringir e dificultar o progresso de seleção. A adaptabilidade e estabilidade de produtividade são fatores controlados geneticamente, medidos através da interação GxE e, portanto, tem merecido atenção especial dos melhoristas.

Para se estimar a presença e também a magnitude da interação é necessário avaliar os genótipos em vários ambientes. Contudo, é possível reduzir os custos e o tempo de experimentação simulando variações de ambiente por meio de níveis de insumos e

épocas de semeadura além de outros fatores que podem ser controlados. Uma vez detectada a interação, há alternativas para se atenuar os seus efeitos. Entre essas alternativas, a mais empregada é a identificação de genótipos com ampla adaptabilidade (RIBEIRO et al., 2000).

Para TAI (1971) duas estratégias podem ser utilizadas para contornar esse problema: a) a divisão de áreas heterogêneas em subáreas homogêneas, cada uma tendo suas cultivares específicas; e b) o uso de genótipos de alta estabilidade de rendimento em ambientes variáveis. Entretanto o mesmo autor julgou a segunda estratégia mais eficaz, já que a primeira não permite reduzir a interação GxE pela simples estratificação do ambiente. Outros autores também discutiram este aspecto. EBERHART e RUSSELL (1966) consideraram que, mesmo com a divisão de ambientes com base em diferenças macro-ambientais, a interação de genótipos entre locais dentro de uma sub-região e entre ambientes do mesmo local correspondentes a anos diferentes, freqüentemente, permanecem alta.

Em estudos com trigo CARVALHO et al. (1983) comparando modelos de estabilidade encontraram resultados equivalentes estimados através do modelo de EBERHART e RUSSELL (1966) e TAI (1971) em relação aos parâmetros média ($\hat{\beta}_{0i}$), coeficiente de regressão ($\hat{\beta}_{1i}$ ou $\hat{\alpha}_i$) e desvios da regressão ($\hat{\sigma}_{si}$ ou $\hat{\lambda}_i$).

CARVALHO et al. (1982) trabalhando com aveia em diferentes locais e anos, concluíram que o fator ano foi de maior importância para a estabilidade desta cultura, sendo o fator local de pequena contribuição. Por outro lado, FEDERIZZI et al. (1993) encontraram resultados diferentes, revelando grande contribuição de locais na modificação do comportamento dos genótipos estudados.

Atualmente, há mais de uma dezena de técnicas de análise de adaptabilidade e estabilidade destinadas à avaliação de um grupo de constituições genéticas testadas em diversos ambientes. Tais metodologias são fundamentadas na existência de interação, porém são diferenciadas quanto aos conceitos de estabilidade adotados e de certos princípi-

os estatísticos empregados. A escolha entre eles depende dos dados experimentais, principalmente os relacionados com o número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada (CRUZ e REGAZZI, 1997). A esse respeito VENCOVSKY e BARRIGA (1992) comentam que para um número pequeno de ambientes (não superior a sete) é recomendado utilizar o modelo de EBERHART e RUSSELL (1966) e com um número de ambiente igual ou superior a oito é possível utilizar um modelo bissegmentado, como o de CRUZ et al. (1989).

Os métodos de FINLAY e WILKINSON (1963) e EBERHART e RUSSELL (1966) tem por base análises de regressão linear, que medem resposta de cada genótipo às variações de ambientes. As duas técnicas são bem semelhantes, no que se refere aos aspectos de análise e parâmetros estimados, diferindo em alguns conceitos de estabilidade e adaptabilidade adotados (CRUZ e REGAZZI, 1997).

O método de FINLAY e WILKINSON (1963) determina a adaptabilidade de cada genótipo através da regressão linear de rendimento em relação ao rendimento médio dos genótipos do experimento. Para esses autores o genótipo ideal era aquele que apresentasse média alta e coeficiente de regressão igual a zero (NODARI et al., 1981).

EBERHART e RUSSELL (1966) expandiram o modelo proposto por FINLAY e WILKINSON (1963) considerando a variância do desvio da regressão como um parâmetro de estabilidade adicional. Assim, um genótipo com coeficiente de regressão superior a 1,0 tem comportamento consistentemente melhor em ambientes favoráveis, enquanto que o que apresenta coeficiente de regressão inferior a 1,0 é tido como de desempenho relativamente melhor em ambientes desfavoráveis. A magnitude e a significância da variância dos desvios da regressão dão uma estimativa da previsibilidade da constituição genética. Para esses autores o genótipo ideal é aquele que apresenta alta produtividade média, coeficiente de regressão igual a 1,0 e desvios da regressão não diferindo de zero.

VERMA et al. (1978) propuseram uma nova estratégia de análise de estabilidade e adaptabilidade. Para eles, o genótipo ideal era aquele com alta capacidade produtiva, grande estabilidade, pouco sensível às condições adversas de ambientes, mas capaz de responder satisfatoriamente à melhoria de ambiente. Para reconhecer este genótipo recomendaram uma dupla análise de regressão linear, em cada uma, utilizando um modelo semelhante ao de EBERHART e RUSSELL (1966), no qual se mede a respostas dos genótipos a dois tipos de ambientes caracterizados por serem favoráveis e desfavoráveis (CRUZ e REGAZZI, 1987).

SILVA e BARRETO (1985) baseados na crítica de que o método de análise de estabilidade e adaptabilidade proposto por VERMA et al. (1978) evidencia impraticabilidade ou proporciona testes estatísticos questionáveis, propuseram uma análise alternativa, em que os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade seriam estimados por uma única equação, representada por uma reta bissegmentada. Visando tornar a metodologia operacionalmente mais simples e com propriedades estatísticas mais adequadas aos propósitos do melhoramento, CRUZ et al. (1989) apresentaram uma extensão da metodologia proposta por SILVA e BARRETO (1985). Essa técnica tem por base a análise de regressão bissegmentada e tem como parâmetros de adaptabilidade a média ($\hat{\beta}_{0i}$), a resposta linear aos ambientes desfavoráveis ($\hat{\beta}_{1i}$) e também aos ambientes favoráveis ($\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$). A estabilidade dos genótipos deveria ser avaliada pelo desvio da regressão ($\hat{\sigma}_{\delta_i}$) de cada cultivar, em função das variações de ambiente.

Conhecendo que os parâmetros de estabilidade de produção e adaptabilidade ao ambiente são caracteres herdáveis e com facilidade relativa de serem estimados através de métodos estatísticos, estes fatores, importantíssimos para o melhoramento das espécies, se tornaram passíveis de melhoramento.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento de um grupo de 10 cultivares de aveia hexaplóide quanto à adaptabilidade e estabili-

dade de rendimento de grãos, visando discriminar as diferenças entre os genótipos quanto aos parâmetros anteriormente citados, almejando a utilização pelos programas de melhoramento das informações geradas, na escolha dos genitores.

MATERIALE MÉTODOS

Os dados experimentais referentes a rendimento de grãos (kg.ha⁻¹) provêm dos Ensaio Brasileiros de Cultivares de Aveia (EBCA), que foram conduzidos pelo setor de Fitomelhoramento da Universidade Federal de Pelotas/RS (UFPel) e pela Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária/PR (FAPA).

Os ensaios na UFPel foram instalados nos anos agrícolas de 1998/99 e 2000, e na FAPA foram instalados a campo em 1997/98 e 99. Os tratamentos compreenderam dez genótipos, os quais estiveram presentes em todos os ambientes durante os anos considerados (Tabela 1). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com três repetições com fungicida e três repetições sem fungicida. A parcela experimental foi composta de cinco linhas de cinco m de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,2 m.

O rendimento de grãos foi determinado com base as três linhas centrais da parcela, com exclusão das duas laterais (bordaduras). Na colheita, o corte foi realizado manualmente e, posteriormente, foi procedido trilha mecânica na UFPel, sendo que na FAPA a colheita foi realizada com colhedora de parcelas (marca HEGE). A adubação de base e cobertura foi realizada de acordo com análise de solo e recomendações para cultura da aveia. Foi utilizado o fungicida tebuconazole, na dose de 0,75 l.ha⁻¹, com duas aplicações. A primeira no surgimento dos sintomas e a segunda aplicação no reaparecimento dos mesmos.

Inicialmente, os dados referentes a rendimento de grãos foram submetidos à análise de variância conjunta, considerando o modelo de genótipo fixo e ambiente aleatório, baseada nos ambientes distintos (Tabela 2). A detecção da interação GxE permitiu a discriminação dos genótipos quanto à adaptabilidade

Tabela 1. Genealogia e ano de lançamento das dez cultivares de aveia que foram utilizadas para compor o presente trabalho, UFPel-RS (1998-2000)/FAPA-PR (1997-99)

Cultivar	Ano	Genealogia
UPF 7	1986	TCFP / X 2503-1
UPF 15	1992	Coker 82-33 // IL3376 / OA338
UPF 16	1993	Coronado/X1799-2/Sel11 Passo Fundo//X3530-40
UPF 17	1994	Coronado/X1799-2/Sel11 Passo Fundo//X3530-40
UFRGS 7	1986	X1205 / FLA 1093
UFRGS 14	1993	805165// Cor2 / Ctz3 / Pendek / ME1563
UFRGS 15	1994	Cor2/Ctz3/Pendek/ME1563/C16CRcp-x/C7512/SRcp74C8014
UFRGS 16	1994	C16 CRcps / C7512/ SRcp / 74C8014
UFRGS 17	1996	Cor2/Ctz3/Pendek/ME1563//76-29 /76-23/75-28/C1833
UFRGS 18	1996	Cocker 81C42//Cor2/Ctz3/ Pendek/ME1563

de e estabilidade fenotípica. Esta segunda avaliação foi realizada através do método de regressão bissegmentada, proposto por CRUZ et al. (1989), com auxílio do Software GENES, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (CRUZ, 2001).

O método é baseado no seguinte modelo de regressão múltipla:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

onde:

Y_{ij} : é a produtividade média do genótipo i ($i = 1, 2, \dots, n$) no ambiente j ($j = 1, 2, \dots, a$);

β_{0i} : é a produtividade média do genótipo i em todos os ambientes;

β_{1i} : é o coeficiente de regressão linear que fornece a resposta do genótipo i aos ambientes desfavoráveis;

I_j : índice de ambiente codificado;

β_{2i} : é o coeficiente de regressão linear que corresponde ao diferencial de resposta do genótipo i nos ambientes favoráveis, em relação à resposta

Tabela 2. Formação dos ambientes com base no ano e local de instalação dos experimentos e em presença ou ausência de fungicida, UFPel-RS (1998-2000)/FAPA-PR (1997-99)

Ambiente	FAPA		UFPel	
	Com Fungicida	Sem Fungicida	Com Fungicida	Sem Fungicida
1	1997	-	-	-
2	-	1997	-	-
3	1998	-	-	-
4	-	1998	-	-
5	-	-	1998	-
6	-	-	-	1998
7	1999	-	-	-
8	-	1999	-	-
9	-	-	1999	-
10	-	-	-	1999
11	-	-	2000	-
12	-	-	-	2000

apresentada nos ambientes desfavoráveis: então, $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ representa a resposta aos ambientes favoráveis;

$T(I_j) = 0$ se $I_j < 0$;

$T(I_j) = I_j - \bar{I}_+$ se $I_j > 0$, sendo \bar{I}_+ a média dos índices I_j positivos;

δ_{ij} : é o desvio da regressão do genótipo i no ambiente j ;

$\bar{\epsilon}_{ij}$: é o erro experimental médio.

Os desvios da regressão ($\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$), medida da previsibilidade do comportamento de cada genótipo (estabilidade), foi estimado por:

$$\hat{\sigma}_{\delta_i}^2 = (QMD_i - QMR) / r$$

onde:

QMD_{*i*}: quadrado médio dos desvios;

QMR: quadrado médio do resíduo da análise

conjunta;

r : número de repetições.

O coeficiente de determinação (R_i^2), que indica a eficiência do método em explicar a variação nos dados de observação para cada cultivar, foi estimado por:

$$R_i^2 = (SQRe g_{seg} / SQ_{(A/G_i)}) \times 100$$

Objetivando verificar a eficiência da regressão bissegmentada em relação ao método proposto por EBERHART e RUSSELL (1966), foi estimado o coeficiente de determinação r_i^2 , através da metodologia proposta pelos autores. Este parâmetro representa a capacidade deste método de explicar a variação nos dados da produtividade média de cada genótipo, em função das variações de ambiente.

$$r_i^2 = (SQRe g_{linear} / SQ_{(A/G_i)}) \times 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise da variância conjunta dos 12 ambientes e 10 genótipos são evidenciados na Tabela 3. Os efeitos principais de genótipo, ambiente e da interação GxE foram todos altamente significativos ($P < 0,001$). Este fato já era esperado, embora algumas cultivares tenham na sua genealogia genitores comuns (Tabela 1), porém resultantes de cruzamentos complexos, outras têm genealogia totalmente distinta, além de terem sido selecionados em ambientes diferentes. Tudo isso, associado à reação dessas constituições genéticas à ferrugem da folha (principal moléstia que afeta a espécie), tratamento fungicida e avaliados em diferentes condições edafoclimáticas, provavelmente tenha determinado uma diferenciação natural em sua eficiência produtiva.

A interação GxE é determinada pela relação da variabilidade genotípica com a variação do ambiente. Os dados da Tabela 3 evidenciam significância na interação GxE, indicando uma forte influência do ambiente no comportamento dos genótipos, ou seja, significância esta muito mais devida à variação no ambiente do que a própria variabilidade genética existente entre os genótipos. Essas diferenças podem ser atribuídas, a variações edafoclimáticas entre os ambientes escolhidos para compor este trabalho, assim como ao tratamento fungicida utilizado para diferenciar os ambientes. A significância da interação GxE determina a necessidade de proce-

der à análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

A Tabela 4 apresenta a variação máxima de rendimento de cada genótipo e em que ambiente foi obtido. Os resultados mostram que o ambiente 4 foi o menos favorável para o cultivo dessa espécie, ou seja, ano de 1998, sem fungicida na FAPA/PR. Por outro lado, os ambientes 9 e 11 revelaram ser os mais favoráveis para desenvolvimento da cultura, ambos nos ambientes da UFPel, com fungicida, nos de 1999 e 2000, respectivamente. A extrema variação entre ambientes com e sem tratamento fungicida, provavelmente, esteja intimamente ligada à constituição genética da cultivar, ou seja, quanto maior a susceptibilidade do genótipo maior será a variação. Devido a este fato, a maior variação foi observada para a cultivar UPF 16 com rendimento médio de 2145,2 kg.ha⁻¹ (Tabela 5), porém, evidenciou rendimento de 133 kg.ha⁻¹, no ambiente de pior desempenho (ambiente 4) e 4560 kg.ha⁻¹ no ambiente de melhor desempenho (ambiente 9). Em anos propícios ao patógeno, a moléstia poderá causar perdas totais nas lavouras semeadas com cultivares suscetíveis e sem tratamento fungicida.

O rendimento de grãos das cultivares (Tabela 5) foram submetidos ao teste de Scott e Knott (5%). Os resultados revelaram que os genótipos não se distinguiram significativamente quanto ao rendimento médio nos ambientes favoráveis, assim como, globalmente, em todos os 12 ambientes. Entretanto, mostraram diferenças nos ambientes desfavoráveis. Isto evidencia que os genótipos apresentam respostas diferenciadas à ferrugem da folha. Contudo, o rendimento médio dos genótipos foi considerado relativamente elevado, devido a grande heterogeneidade de ambientes em que os rendimentos de grãos foram obtidos.

As estimativas de adaptabilidade ($\hat{\beta}_1$) a ambientes desfavoráveis, incluídas na Tabela 5, variaram de 0,74 a 1,34. As cultivares UPF 7, UFRGS 7 e UFRGS 16 revelaram valores do coeficiente $\hat{\beta}_1$ de 0,79, 0,74 e 0,74, respectivamente, menores que 1,0 (significativos a 1%), sendo consideradas as mais

Tabela 3. Análise de variância conjunta dos dados dos dez genótipos de aveia nos 12 ambientes¹, UFPel-RS (1998-2000)/FAPA-PR (1997-99)

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Prob>F
Bloco/ Ambiente	24	13.278.723	592.010	
Genótipo	9	15.820.460	1.757.829	<0,001
Ambiente	11	248.151.600	22.559.236	<0,001
Genótipo x Ambiente	99	59.192.892	597.908	<0,001
Resíduo	216	22.710.069	105.139	

Tabela 4 . Rendimento de grãos, mínimo e máximo, de cada uma das dez cultivares de aveia e ambiente em que foi obtido, UFPel-RS (1998-2000)/FAPA-PR (1997-99)

Cultivar	Rendimento Mínimo - Ambiente	Rendimento Máximo - Ambiente
	-----kg/ha-----	-----kg/ha-----
UPF 7	1174 - 4	3746 - 9
UPF 15	597 - 4	3462 - 11
UPF 16	133 - 4	4560 - 9
UPF 17	148 - 4	3529 - 9
UFRGS 7	1073 - 4	2998 - 11
UFRGS 14	200 - 4	3944 - 11
UFRGS 15	512 - 4	3875 - 11
UFRGS 16	1376 - 4	4134 - 9
UFRGS 17	119 - 4	3456 - 11
UFRGS 18	352 - 4	3647 - 11

adaptadas, em termos de rendimento de grãos, a ambientes desfavoráveis. Por outro lado, a cultivar UPF 16 com valor $\hat{\beta}_1$ de 1,34, significativamente (1%) maior que 1,0 foi considerada altamente ajustada a ambientes favoráveis. Esses resultados confirmam a diferenciação dos genótipos quanto ao rendimento em ambientes desfavoráveis, avaliados pelo teste de Scott e Knott, cujos genótipos que apresentaram coeficientes $\hat{\beta}_1$ menores que 1,0 (UPF 7, UFRGS 7 e UFRGS 16) também evidenciaram produtividades superiores neste ambiente, assim como, o genótipo UPF 16 com coeficiente $\hat{\beta}_1$ maior que 1,0, expressou rendimento significativamente inferior. Os demais genótipos, cujos valores do coeficiente $\hat{\beta}_1$ não diferiram significativamente de 1,0, foram considerados com adaptabilidade ampla, ou seja, com comportamento semelhante em ambientes favoráveis e adversos.

Os valores da estimativa do coeficiente $\hat{\beta}_2$ significativamente diferente de 0,0 para 60% dos genótipos

indicam adequabilidade do método de regressão bissegmentado. Este coeficiente também influencia diretamente na grandeza do valor $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$, o qual indica que determinado genótipo responde à aplicação de insumos (fertilizantes, fungicida, etc...) ou a qualquer melhoria de ambiente. Desta forma, valores negativos de $\hat{\beta}_2$ são indesejáveis e contribuem para redução dos valores de $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$, sendo observados valores de -0,38 a 0,66. As cultivares UPF 7 e UFRGS 7 com valores $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$, respectivamente, 0,60 e 0,36 significativamente (1%) menor que 1,0 revelaram não ser responsivas à melhoria do ambiente. As demais cultivares, com valores $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \geq 1$, mostraram responder à melhoria do ambiente, permitindo incremento no rendimento de grãos. Este fato, provavelmente, é devido à época em que essas constituições genéticas foram desenvolvidas. As cultivares UPF 7 e UFRGS 7 são as que estão em uso há mais tempo e foram selecionadas há mais de duas décadas (Tabela 1). Pela análise utilizada, esses genótipos expressam características de rusticidade e potencial genético limitado para produção de grãos, mostrando adaptação às condições menos favorecidas, contudo, quando as condições de ambiente são melhoradas eles não expressam estímulos para aumento em rendimento de grãos. Deste modo, estas duas constituições genéticas são genericamente consideradas como as menos exigentes às condições de ambiente. Por outro lado, a cultivar UPF 16, considerada pouco adaptada a ambientes menos favorecidos, assim como as cultivares UPF 15, UPF 17, UFRGS 14, UFRGS 15, UFRGS 16, UFRGS 17 e UFRGS 18 (com adaptabilidade geral), revelaram valores $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \geq 1$, evidenciando resposta a melhoria de ambiente. De modo geral, estas cultivares podem ser classificadas como exigentes em condições de ambiente, expressando seu potencial genético sob tais condições. Contudo, principalmente no caso da cultivar UPF 16, quando utilizada em ambientes marginais de cultivo pode, muitas vezes, levar a baixos rendimentos de grãos. Con-

Tabela 5 . Produtividades médias de grãos e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade, responsividade e estabilidade, UFPel-RS (1998-2000)/FAPA-PR (1997-99)

Genótipo	Rendimento de Grãos (kg.ha ⁻¹) ¹			$\hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\beta}_{1i} + \hat{\beta}_{2i}$	$\hat{\beta}_{2i}$	$\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$	R ² (%) ²	r ² (%) ³
	Global	Amb. Desfav.	Amb. Fav.						
UPF 7	2372,2 a	1877,9 a	3064,1 a	0,79**	0,60**	-0,19	130.629* *	76,2	75,5
UPF 15	2263,1 a	1601,5 a	3189,3 a	1,12	0,88	-0,24	55.560* *	92,2	91,5
UPF 16	2145,2 a	1408,1 b	3177,1 a	1,34**	1,03	-0,31*	349.484* *	80,0	79,2
UPF 17	1873,6 a	1295,1 b	2683,5 a	1,08	0,77	-0,31*	161.922* *	83,3	82,0
UFRGS 7	2202,5 a	1777,3 a	2797,7 a	0,74**	0,36**	-0,38*	3.663	91,8	87,5
UFRGS 14	2259,6 a	1788,3 a	2919,3 a	0,98	1,38*	0,40**	159.430* *	84,4	82,6
UFRGS 15	1947,5 a	1313,6 b	2834,9 a	1,06	1,59**	0,53**	36.639*	94,7	91,8
UFRGS 16	2472,6 a	1996,4 a	3139,3 a	0,74**	0,76	0,02	228.602* *	65,7	65,2
UFRGS 17	1901,7 a	1383,1 b	2627,8 a	1,01	0,84	-0,17	83.621* *	88,1	86,7
UFRGS 18	1861,1 a	1192,2 b	2797,6 a	1,12	1,78**	0,66**	62.288* *	93,8	89,9

seqüentemente, os resultados sugerem que essa cultivar seja indicada apenas para condições de ambientes favoráveis, levando em conta o nível tecnológico utilizado no seu manejo, principalmente no caso de controle da ferrugem da folha.

Os desvios das regressões (Tabela 5) foram significativos para 90% das cultivares. As significâncias dos desvios podem ser indicativas de instabilidade de rendimento nos ambientes favoráveis ou menos favoráveis, ou de inadequação do modelo estatístico utilizado, ou ainda, de falha do índice de ambiente na representação da produtividade do ambiente. Essa falha pode decorrer de diferenças de comportamento das cultivares em relação a características específicas do ambiente (KNIGHT, 1970).

Entretanto, considerando que o coeficiente de determinação (R²) estimado pela metodologia de CRUZ et al. (1989), foi superior para todas as cultivares em relação ao coeficiente de determinação (r²) estimado pelo método proposto por EBERHART e RUSSELL (1966), justifica a utilização da regressão bissegmentada, visto que esta hipótese é mais ajustada por esta metodologia. Outro fator importante a ser considerado para a justificativa da adequação do modelo utilizado é a rejeição da hipótese $\hat{\beta}_{2i} = 0$ o que indica que o comportamento dos genótipos, em resposta às mudanças de ambiente, é bissegmentado. Isso foi observado em 60% dos

genótipos avaliados. Deste modo, evidencia a existência de genótipos cujo comportamento responsivo revela alteração na medida em que as condições de ambiente expressam variação. Assim, estes genótipos puderam ter seus comportamentos explicados por uma técnica mais detalhista do que pela simples regressão linear.

Pode ser observado que apenas a cultivar UFRGS 7 não apresentou desvio da regressão ($\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$) significativo, o que indica comportamento previsível (maior estabilidade), além de possuir elevado R² (91,8). Entretanto, deve ser relatado que este genótipo apresenta adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e não responde à melhoria de ambiente, sendo recomendado cautela quando a sua indicação for para ambientes favoráveis, o que poderá acarretar prejuízos por não responder positivamente às condições de alta tecnologia.

CONCLUSÕES

1. O comportamento dos genótipos analisados foi distinto para os diferentes ambientes, diferindo para os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos evidenciando, dessa forma, existência de variabilidade genética para o caráter estudado;

2. Os resultados enfatizam que o uso de técnicas de aferição da interação genótipo x ambiente podem auxiliar na indicação de genótipos com adaptação específica;

3. A única constituição genética que evidenciou estabilidade de rendimento de grãos foi a cultivar UFRGS 7, que apresentou desvios da regressão não diferentes de zero.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.O.; FLOSS, E.; GANDIM, C.L. Analysis of stability parameters and of genotype x environment interaction in oats grain yield in Rio Grande do Sul (Brazil). *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 5, p.517-532, 1982.
- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.O.; STORCK, L. Comparison among stability models in evaluating genotypes. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 6, n.4, p. 667-692, 1983.
- CRUZ, C.D. **Programa genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: Editora UFV, 2001. 648p.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, Madison, v.6, n.1, p. 36-40, 1966.
- FAOSTAT DATABASE RESULTS. Disponível em: <http://www.fao.org/>. <acesso em 20 de agosto de 2001>.
- FEDERIZZI, L.C.; BARBOSA NETO, J.F.; CARVALHO, F.I.F.; VIAU, L.V.M.; SEVERO, J.L.; FLOSS, E.L.; ALVES, A.; ALMEIDA, J.; SILVA, A.C. Estabilidade do rendimento de grãos em aveia: efeito do uso de fungicida. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 4, p. 465-472, 1993.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agriculture Research*, v. 14, p. 742-754, 1963.
- KNIGHT, R. The measurement and interpretation of genotype environment interactions. *Euphytica*, v.19, p.225-235, 1970.
- NODARI, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C. Uso e eficiência dos parâmetros de estabilidade da produtividade de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v.3, p.20-28, 1981.
- NOR, K.M.; CADY, F.B. Methodology for identifying wide adaptability in crops. *Agronomy Journal*, v.71, p.556-559, 1979.
- RIBEIRO, P.H.E.; RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diferentes condições ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.11, p.2213-2222, 2000.
- SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. Aplicação da regressão linear segmentada em estudo da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA. 1.. *Anais...* Piracicaba: ESALQ, 1985. p. 49-50.
- TAI, G.C.C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional traits. *Crop Science*, Madison, v.11, p. 184-190, 1971.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis, a proposed modification. *Theoretical and Applied Genetics*, v.53, p. 89-91, 1978.