

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE RENDIMENTO DE GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO COMUM¹

JOÃO BATISTA DUARTE² e MARIA JOSÉ DE O. ZIMMERMANN³

RESUMO – O trabalho propôs-se a avaliar o comportamento da produtividade de grãos de 76 genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) mulatinho, em doze ambientes brasileiros (1984/85 e 1985/86). O método estatístico adotado foi a regressão linear bisegmentada. Verificou-se que 25% dos genótipos mostraram respostas diferenciadas quando cultivados em ambientes favoráveis ou desfavoráveis. Destes, alguns exibiram respostas superiores em condições piores e outros responderam mais em condições melhores. Tais comportamentos indicaram suas adaptações a ambientes de baixa a média produtividade e a ambientes de média a alta produtividade, respectivamente. Os 75% restantes mostraram o mesmo padrão de resposta em condições mais ou menos favorecidas, possibilitando dividi-los em genótipos de adaptação a ambientes de baixa produtividade, de adaptabilidade geral, e de adaptação a ambientes de alto rendimento. Para cada tipo de resposta adaptativa foram indicados os genótipos mais produtivos e de comportamento estável. O germoplasma avaliado mostrou baixa potencialidade para o cultivo em condições de tecnologia avançada.

Termos para indexação: interação genótipo x ambiente, avaliação de cultivares, recomendação de cultivares, regressão linear bi-segmentada.

ADAPTABILITY AND YIELD STABILITY OF COMMON BEAN GENOTYPES

ABSTRACT – This research was proposed to evaluate the behaviour of grain yield of 76 genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of cream seed (mulatinho) color, tested in twelve Brazilian environments (1984/85 and 1985/86). The statistic procedure used was the bi-segmented linear regression. Twenty five percent of the genotypes responded differently under favourable or unfavourable environmental conditions. Among these genotypes, some responded better to environmental improvements in favourable conditions and others responded better to favourable conditions. These behaviours indicated that the first genotypes showed adaptation to environments of low to average yield potential while the others showed to be adapted to average to high yielding environments. The other 75% of genotypes showed the same pattern of response in better environmental conditions as in those poor ones. Among these genotypes, three types of adaptative response were observed: genotypes adapted to low yielding (poor) environments; genotypes with general adaptability, and other ones with adaptation to high yielding (rich) environments. For each type of adaptative response, the genotypes of more stable behaviour and higher yield were indicated. The evaluated germplasm showed also low yield potential for an advanced cropping condition.

Index terms: genotype x environment interaction, cultivars evaluation, recommended cultivars, bi-segmented linear regression.

¹ Aceito para publicação em 9 de julho de 1993.

Trabalho desenvolvido no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, através do convênio EMBRAPA/UFG.

² Eng.-Agr., M. Sc., Dep. de Agric., Esc. de Agron. Univ. Fed. de Goiás, Caixa Postal 131, CEP 74001-970 Goiânia, GO, Brasil.

³ Eng.-Agr., Ph.D., Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Caixa Postal 179, 74001-970 Goiânia, GO, Brasil.

INTRODUÇÃO

O feijoeiro constitui, entre as culturas anuais plantadas no Brasil, uma das mais sensíveis a adversidades ambientais (solos pobres, deficiência hídrica, ataque de pragas e doenças, etc.). Tal característica tem resultado em rendimentos baixos e produção instável ao longo dos anos,

acarretando desabastecimento, grande oscilação de preços e conseqüente queda no consumo "per capita" deste produto, que representa a principal fonte de proteína do povo brasileiro.

Entre outras razões, essa extrema sensibilidade da cultura pode estar associada ao uso de cultivares mal adaptadas aos diversos sistemas de produção e à grande variabilidade de condições edafoclimáticas em que se cultiva feijão no Brasil.

Neste aspecto, a recomendação de cultivares com base unicamente em suas produtividades médias nos ensaios finais de rendimento pode contribuir para a indicação de genótipos de adaptação específica, que acabam se comportando mal na amplitude de condições em que o cultivo se verifica.

Entre os métodos de estudo da estabilidade fonotípica, a proposta de Eberhart & Russell (1966) tem sido a mais aplicada, inclusive em feijoeiro. Estudos comparativos têm mostrado sua eficiência em relação a outros métodos de regressão linear simples e aos que usam um só parâmetro de avaliação (Jowett, 1972; Easton & Clements, 1973; Oliveira, 1976; Duarte, 1988).

Considerando apenas os métodos que envolvem regressão, que são por natureza mais informativos, Riede & Barreto (1985), Peixoto et al. (1985) e Duarte (1988) concluíram que a alternativa da regressão linear bi-segmentada apresenta ligeira superioridade em relação aos métodos de regressão linear simples. A técnica originalmente proposta por Verma et al. (1978) foi modificada por Silva & Barreto (1985), e baseia-se no ajuste de uma equação de regressão múltipla que define dois segmentos de reta. Cruz et al. (1989) introduziram novas modificações à proposta de Silva & Barreto (1985), facilitando o cálculo para estimativa dos parâmetros e melhorando a precisão destas estimativas.

Diante disso, o presente estudo optou pela metodologia de Cruz et al. (1989), baseando-se também na sua grande capacidade informativa, uma vez que ela permite conhecer separadamente o comportamento individual dos genótipos em condições mais e menos favorecidas.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento de um grupo de linhagens experimentais e cultivares de feijão-mulatinho

quanto à adaptabilidade e estabilidade de rendimento, visando fornecer subsídios adicionais ao processo de recomendação de cultivares embora possa não haver, entre os genótipos avaliados, linhagens que sejam apropriadas para lançamento, almeja-se, com este trabalho, mostrar a importância de um estudo detalhado do comportamento individual dos genótipos ao longo das variações ambientais, para que se façam recomendações mais seguras.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais relativos ao caráter produtividade de grãos (kg/ha) foram provenientes dos Ensaios Preliminares de Rendimento de Feijão Mulatinho (EPRM's), conduzidos sob coordenação do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP)/EMBRAPA.

Os ensaios selecionados foram instalados em oito localidades brasileiras, nas safras 1984/85 e 1985/86, totalizando doze ambientes distintos (Tabela 1). Os ensaios de Goiânia e Irecê, no ano agrícola 1984/85, foram conduzidos em dois níveis de fertilidade. Os tratamentos compreenderam 76 genótipos de feijoeiro (linhagens experimentais e cultivares) do grupo comercial "mulatinho", incluindo-se a cultivar Carioca, tida como padrão de estabilidade produtiva. A escolha dos ensaios baseou-se na heterogeneidade das variâncias residuais (relação entre quadrados médios residuais de, no máximo, quatro vezes).

TABELA 1. Localidades de condução dos ensaios selecionados, instituições responsáveis e número de ensaios por ano.

Localidade/UF	Instituição	Número de ensaios	
		1984/85	1985/86
Goiânia/GO	CNPAF	2	1
Vilhena/RO	CPAF/Rondonia	-	1
Rio Branco/AC	CPAF/Rio Branco	1	1
Lavras/MG	ESAL	1	-
Irecê/BA	EPABA	2	-
Nova Soure/BA	EPABA	1	-
Ipirá/BA	EPABA	1	-
Aracajú/SE	CNPC	1	-

As produtividades médias de cada tratamento em cada ambiente foram submetidas à análise de variância conjunta, considerando locais e anos como ambientes distintos (microambientes). A detecção de interação de genótipos com ambientes possibilitou a discriminação dos genótipos quanto à adaptação e estabilidade fenotípica. Esta avaliação foi feita pelo método de Silva & Barreto (1985), modificado por Cruz et al. (1989).

O método baseia-se no seguinte modelo de regressão múltipla:

$$Y_{ij} = \beta_0_i + \beta_1_i X_{1j} + \beta_2_i X_{2j} + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

onde:

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

β_0_i : é a produtividade média do genótipo i ao longo de todos os ambientes;

β_1_i : é o coeficiente de regressão linear que dá a resposta do genótipo i aos ambientes desfavoráveis;

X_{1j} : é a primeira variável independente definida com o índice do ambiente j , tal como proposto por Eberhart & Russell (1966):

$$X_{1j} = \frac{(\sum Y_{ij}/n) - (\sum \sum Y_{ij}/mn)}{j}$$

β_2_i : é o coeficiente de regressão linear que dá o diferencial de resposta do genótipo i nos ambientes favoráveis, em relação à resposta apresentada nos ambientes desfavoráveis; logo, $\beta_1_i + \beta_2_i$ é o que representa a resposta aos ambientes favoráveis;

X_{2j} : é a segunda variável independente definida por $X_{2j} = 0$ se $X_{1j} < 0$, e $X_{2j} = X_{1j} - \bar{X}_p$ se $X_{1j} \geq 0$, onde:

\bar{X}_p é a média dos índices x_{1j} positivos. Assim,

$$\sum_j X_{1j} = \sum_j X_{2j} = 0;$$

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

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

A estimação dos parâmetros para cada um dos genótipos avaliados foi feita pelo sistema de equações normais. Em notação matricial escreve-se:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y, \text{ onde:}$$

$\hat{\beta}$: é o vetor de ordem 3×1 com as estimativas β_0_i , β_1_i e β_2_i para os parâmetros β_0_i , β_1_i e β_2_i , respectivamente.

X : é a matriz de variáveis independentes de ordem $m \times 3$, cuja primeira coluna é formada de números um (1), a segunda, pelos valores X_{1j} , e a terceira, pelos valores X_{2j} ; e

Y : é o vetor de observações de ordem $m \times 1$, com as produtividades médias do genótipo i nos m ambientes.

O quadrado médio dos desvios da regressão (s^2_{di}), medida da previsibilidade de comportamento de cada genótipo (estabilidade), foi estimado por:

$$s^2_{di} = (Y'Y - \hat{\beta}'X'Y)/(m-3).$$

O coeficiente de determinação (R^2_i), indicador da eficiência do método em explicar a variação nos dados de observação para cada genótipo, foi estimado por:

$R^2_i = (\hat{\beta}'X'Y - FC)_i / (Y'Y - FC)_i$, onde o numerador é a soma de quadrados da regressão segmentada para o genótipo i , e o denominador, a soma de quadrados total para os m dados relativos ao genótipo i .

Para verificar a eficiência da regressão segmentada em relação ao método de Eberhart & Russell (1966), estimou-se também o coeficiente de determinação r^2_i . Este parâmetro representa a capacidade deste método de explicar a variação nos dados de produtividade média de cada genótipo, em função das variações ambientais (índices X_{ij} como propuseram Eberhart & Russell, 1966). A estimativa foi obtida por:

$$r^2_i = \frac{[\sum_j (X_{1j} Y_{ij})]^2 / \sum_j X_{1j}^2}{\sum_j Y_{ij}^2 - (\sum_j Y_{ij})^2 / m}.$$

As significâncias estatísticas das estimativas de parâmetros foram testadas por t e F pelas seguintes hipóteses: HO_1 : $b_{1j} = 0$, HO_2 : $b_{1j} = 1$, HO_3 : $b_{1j} + b_{2j} = 0$, HO_4 : $b_{1j} + b_{2j} = 1$, HO_5 : $b_{2j} = 0$, HO_6 : $s^2_{di} = 0$ (QM_{res}), HO_7 : $R^2_i = 0$ e HO_8 : $r^2_i = 0$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando as respostas aos ambientes desfavoráveis (b_{1j}) e aos ambientes favoráveis ($b_{1j} + b_{2j}$), independentemente, pôde-se notar que a grande maioria dos genótipos (90,8%) respondeu à melhoria das condições em ambientes pobres (b_{1j} significativas ao nível de 5% de probabilidade), enquanto menos da metade deles (43,4%) o fizeram para os ambientes mais favorecidos ($b_{1j} + b_{2j}$), significativas a 5% de

probabilidade (Tabela 2). Isto evidencia uma tendência de resposta em patamar (acréscimos decrescentes à melhoria das condições ambientais), o que é evidenciado também pela proporção de genótipos com estimativas b_{2j} negativas (59,2%). Embora esta característica seja esperada quando se estuda a variação de produtividade em função de um fator isolado (temperatura, teor de nutrientes, etc.), ela representa um problema quando se considera índice de produtividade dos ambientes, e especialmente quando se observa que o potencial máximo de rendimento da maioria dos genótipos foi atingido em condições ainda muito pobres, uma vez que o nível de produtividade dos ambientes amostrados, foi bastante baixo (83% deles com médias inferiores a 950 kg/ha). Tal constatação pode estar associada a uma baixa potencialidade do germoplasma avaliado para o cultivo em condições de alta tecnologia.

Outra preocupação surge quando se observa, que dentro deste grupo de genótipos não responsivos às condições de tecnologia mais avançada, encontram-se cultivares bastante em voga no Brasil, como a Carioca (61) e a EMGOPA 201 (28). Estas, são cultivadas numa diversidade de condições, inclusive em condições favorecidas, por serem tidas como produtivas e de ampla adaptação. Porém, o que se percebe é que em condições mais favorecidas, onde estes genótipos também alcançam suas mais altas produtividades, resultados muito melhores poderiam ser alcançados se fossem utilizadas cultivares com maior capacidade de resposta nestas condições.

Passando-se à análise das estimativas b_{2j} , pôde-se verificar que 25% dos genótipos avaliados mostraram respostas diferenciadas quando cultivados em ambientes favoráveis ou desfavoráveis (b_{2i} estatisticamente diferentes de zero). Isto justificou a utilização da regressão segmentada, uma vez que evidenciou a existência de genótipos cujo comportamento responsivo altera-se na medida em que as condições ambientais variam. Assim, estes genótipos puderam ter seus comportamentos explicados por uma técnica mais detalhista do que pela simples regressão linear. O restante (57 genótipos)

mostrou respostas praticamente lineares (b_{2j} não diferindo de zero a 5% de probabilidade), o que não deve ser entendido, obrigatoriamente, como genótipos de comportamento responsivo inalterado. Isto porque o teste apenas indica que, a este nível de significância, a diferença nas respostas em condições menos e mais favorecidas não pôde ser comprovada.

Considerando o grupo de genótipos com respostas diferentes se cultivados em ambientes melhores ou piores, dois tipos de respostas adaptativas puderam ser observadas: a) genótipos cuja resposta em condições desfavoráveis superou a apresentada em ambientes favoráveis; e b) genótipos cuja capacidade de resposta em condições favoráveis superou a apresentada em ambientes desfavoráveis.

O primeiro grupo é representado por genótipos cujo comportamento mostrou uma tendência a tornarem-se menos responsivos na medida em que as condições ambientais melhoraram (resposta em patamar). Estes genótipos parecem expressar todo seu potencial genético de resposta ainda num nível baixo de produtividade do ambiente, mostrando-se adaptados a ambientes de baixa a média produtividade. Segundo Peixoto et al. (1985), tal característica lhes garante uma determinada produtividade com um nível menor de insumos do que o exigido por um genótipo altamente responsivo, para alcançar a mesma produtividade. Entretanto, deve-se considerar que o rendimento médio alcançado por estes genótipos esteve sempre abaixo de 840 kg/ha, o que indica que esse máximo potencial genético encontra-se muito aquém das reais potencialidades da cultura, e acaba inviabilizando o seu aproveitamento comercial. As linhagens LM 21387-0 (43), L 12118 (3) e LM 21525-0 (10) foram as que alcançaram os melhores níveis de produtividade (bo_j) e estabilidade de comportamento (s^2d_j) neste grupo.

O segundo grupo representa os genótipos cujo comportamento mostrou uma tendência a tornarem-se mais responsivos na medida em que as condições ambientais melhoraram. Nenhum destes genótipos enquadrou-se dentro do conceito "teoricamente ideal" de Verma et al. (1978), que seria o genótipo com baixa sensibilidade em

TABELA 2. Estimativas de parâmetros de adaptação e estabilidade fenotípica de rendimento de 76 genótipos de feijoeiro comum, obtidas pelo método de Silva e Barreto (1985), modificado por Cruz et al. (1989).

Nº	IDENTIFICACAO	bo _i	b _{1i}	(b _{1i} + b _{2i})	b _{2i}	Q _i desv. _i	r ² ₁	r ² ₂	Q _i desv. _i	b _{2i}	(b _{1i} + b _{2i})	b _{2i}	Q _i desv. _i	r ² ₁	r ² ₂
1	L 12 155	866,36	1,12**	0,41	-0,71	21745,4	0,69**	0,64**	26377,4	-0,76	0,57	-0,76	26377,4	0,72**	0,68**
2	Aracuaia	784,78	0,36 (+)	0,05	-0,32	81236,0**	0,06	0,05	16571,9	-0,21	0,42	-0,21	16571,9	0,49*	0,48*
3	L 12 118	916,90	1,38**	-0,03	-1,4*	25087,5	0,74**	0,59**	25994,3	3,24**	3,24**	3,24**	25994,3	0,91**	0,87**
4	L 11 152	915,06	1,08**	0,88	-0,15	59095,2	0,46*	0,46*	26156,2	0,39	1,03	0,39	26156,2	0,49*	0,46*
5	LA 21303-0	1019,37	1,68**	1,09*	-0,51	59702,8	0,66**	0,64**	22228,1	-2,01**	-0,60	-2,01**	22228,1	0,78**	0,48*
6	82 PVEZ 1901	726,61	0,68*	1,95**	1,40	94025,3**	0,21	0,21	73994,2	-0,78	-0,03	-0,78	73994,2	0,23	0,18
7	82 PVEZ 1718	971,11	1,53**	2,21**	0,67	48890,6*	0,73**	0,71**	42659,7	-0,05	-0,05	-0,05	42659,7	0,52**	0,50*
8	82 PVEZ 1777	812,92	0,93**	2,68**	1,75**	67165,9**	0,59**	0,46*	29819,9	0,47	0,44	0,44	29819,9	0,52**	0,50*
9	L 11 130	903,13	1,19**	0,73	-0,40	46147,9*	0,54**	0,53**	59991,4**	-1,73**	-0,72	-1,73**	59991,4**	0,44*	0,21
10	LA 21305-0	821,63	0,85**	-0,39	-1,23*	32540,9*	0,46*	0,28	73392,2**	0,46	0,46	0,46	73392,2**	0,15	0,15
11	LA 10034-0	839,01	0,64*	0,55	-0,08	38307,9	0,32	0,32	86266,0**	0,73	2,11**	0,73	86266,0**	0,56**	0,54**
12	M. Vaguen Roxa	885,84	1,15**	1,26*	0,10	42896,4	0,60**	0,60**	36275,8	0,73	2,31**	0,73	36275,8	0,80**	0,77**
13	L 10 298	777,52	1,14**	-0,37	-1,51*	44390,7*	0,53**	0,35*	34607,9	0,24	0,24	-0,58	34607,9	0,49*	0,39*
14	L 11 090	779,94	1,02**	0,82	0,80	34900,2	0,15	0,04	72901,2**	-1,33	0,25	-1,33	72901,2**	0,28	0,15
15	A 331	706,69	1,29**	2,10**	0,88	58237,9**	0,62**	0,59**	28613,2	0,31	0,31	0,31	28613,2	0,31	0,29
16	ESAL 501	888,68	0,97**	1,18*	0,21	27355,8	0,64**	0,64**	15676,3	1,44*	1,44*	1,44*	15676,3	0,58**	0,58**
17	LA 21305-0	846,13	1,70**	1,65**	-0,05	48921,4*	0,73**	0,73**	5676,3	1,64**	2,31**	1,64**	5676,3	0,81**	0,56**
18	LA 10402-0	888,06	1,13**	2,67**	1,53**	29153,7	0,28	0,22	2532,8	0,09	1,31**	0,09	2532,8	0,76**	0,76**
19	82 PVEZ 1763	956,42	0,51	1,34*	0,83	66729,8**	0,28	0,22	33037,8*	0,49	1,61**	0,49	33037,8*	0,58**	0,55**
20	L 11 132	891,00	1,37**	1,04*	0,57	36187,1	0,32	0,28	7907,57	0,80	1,11**	0,80	7907,57	0,73**	0,70**
21	L 10 099	891,00	1,24**	2,00**	-0,20	14259,6	0,95**	0,85**	36653,9	0,74	1,02**	0,74	36653,9	0,55**	0,54**
22	LA 21306-0	923,06	1,24**	2,00**	0,75	22044,1	0,81**	0,77**	25882,5	1,66**	1,66**	1,66**	25882,5	0,77**	0,76**
23	A 300	835,12	1,29**	1,95**	0,66	59047,7**	0,52**	0,60**	14013,3*	0,38	0,38	-0,56	14013,3*	0,53**	0,50*
24	LA 30877-0	789,58	0,88**	0,57	-0,29	12943,4	0,70**	0,69**	45934,5*	0,51	0,51	-0,72	45934,5*	0,57**	0,53**
25	A 275	629,27	0,86**	-0,62	-1,47*	46100,6*	0,40*	0,19	16965,0	3,16**	3,95**	3,16**	16965,0	0,19*	0,47*
26	LA 21322-0	976,36	1,25**	2,30**	1,05	89642,8**	0,54**	0,50**	64427,0**	0,82	0,82	0,30	64427,0**	0,49*	0,47*
27	A 329	731,98	0,53*	0,33	-0,20	21477,9	0,35*	0,34*	72901,2**	-0,05	-0,05	-0,74	72901,2**	0,22	0,17
28	PAOISA 201	928,90	1,29**	0,64	-0,65	29047,4	0,69**	0,66**	60875,0**	-2,01**	-0,91	-2,01**	60875,0**	0,46*	0,20
29	A 317	890,09	0,82**	0,72	-0,09	88062,3**	0,25	0,25	100447,2**	0,29	0,29	-0,96	100447,2**	0,37*	0,33
30	L 11 000	773,42	0,70**	1,32*	0,62	62911,6	0,49*	0,45*	51792,7**	0,28	0,28	-0,90	51792,7**	0,50*	0,46*
31	L 11 077	915,35	1,13**	0,91	-0,22	29322,7	0,68**	0,68**	74765,2**	2,10**	2,10**	1,30	74765,2**	0,64**	0,58**
32	82 PVEZ 1758	792,20	1,39**	1,14*	-0,16	18044,3	0,80**	0,80**	667,32	0,40	0,40	1,06	667,32	0,25	0,17
33	L 10 146	772,81	0,77**	0,36	-0,40	36065,4	0,39*	0,37*	22897,5**	2,60**	2,60**	2,60**	22897,5**	0,60**	0,52**
34	LA 10033-0	858,08	0,81**	-0,21	-1,08	26162,0	0,51**	0,36*	17416,9*	0,46	0,46	-0,70	17416,9*	0,19	0,10
35	L 11 093	858,08	1,02**	0,83	-0,19	57872,3**	0,41*	0,43*	84523,7**	1,50*	2,22**	1,50*	84523,7**	0,43*	0,32
36	Parana-1	822,27	0,99**	-0,78	-1,77**	43886,2*	0,46*	0,20	60094,7**	1,32*	1,32*	1,05	60094,7**	0,54**	0,52**
37	CORNELL 1994/2	895,02	1,18**	2,65**	1,46*	14649,8	0,89**	0,77**	26806,0	0,76	1,47**	0,76	26806,0	0,59**	0,52**
38	82 PVEZ 1529	884,23	1,06**	-0,88	-0,88	66500,3**	0,39*	0,33*							

1/- Estimativa obtida pelo método de Eberhart e Russell (1966).

* e ** - Valores estatisticamente diferentes de zero aos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

+ e ++ - Valores estatisticamente diferentes da unidade aos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

ambientes pobres ($b_{1j} = 0$), com capacidade de resposta em condições favoráveis ($b_{1j} + b_{2j} = 1$) e que alcançasse elevadas produtividades. Todos eles mostraram respostas positivas para cada incremento ambiental, especialmente em condições melhores. Assim, mostraram adaptação especial a ambientes de alta produtividade, podendo ser indicados para condições ambientais médias, desde que tenham alcançado rendimentos médios (b_{0j}) elevados. Entre os genótipos com tais características destacaram-se como mais produtivos e de comportamento estável (previsível) por s^2d_j as linhagens: 82 PVMX 1638 (41), Cornell 49242 (39), LM 10402-0 (18) e A 266 (55). Os genótipos ESAL 504 (71), A 251 (69) e ESAL 505 (63), altamente produtivos; não mostraram previsibilidade por s^2d_j , embora exibissem estimativas R^2_j elevadas, o que levantaria dúvidas sobre a sua estabilidade. Nos presentes casos, a elevada magnitude de R^2_j parece dever-se especialmente à sua forte associação com os coeficientes de regressão (b_{1j} e $b_{1j} + b_{2j}$), que também alcançaram magnitudes elevadas (Morais, 1980 e Duarte, 1988). Nestes casos, deve-se dar preferência ao parâmetro s^2d_j , e, desta forma, tais genótipos foram considerados de comportamento instável.

No grupo de genótipos com respostas comportamentais não diferindo estatisticamente da linearidade (b_{2j} não diferentes de zero a 5% de probabilidade), puderam ser observados três tipos de respostas adaptativas: a) genótipos sem capacidade de resposta à melhoria do ambiente (b_{1j} e $b_{1j} + b_{2j}$ não diferindo estatisticamente de zero), adaptados especialmente a ambientes de baixa produtividade, mas geralmente com rendimentos médios baixos, por exemplo: L 11090 (14) e LM 30995-0 (72); b) genótipo com média capacidade de resposta à melhoria das condições ambientais e de adaptabilidade geral (b_{1j} e $b_{1j} + b_{2j}$ diferindo de zero mas não da unidade a 5% de probabilidade); e c) genótipos com alta capacidade de resposta e de adaptação a ambiente de alta produtividade (b_{1j} e $b_{1j} + b_{2j}$ diferentes de um e maiores do que um a 5% de probabilidade).

No grupo de adaptabilidade geral às condições de ambiente amostradas, concentrou-se a maior

parte dos genótipos avaliados. Entre eles destacaram-se como mais produtivos e de comportamento estável por s^2d_j as linhagens: ESAL 506 (56), EMGOPA 201 (28), LM 21306-0 (22), A 344 (60) e L 10111 (40). Já entre os de adaptação específica a ambientes de alta produtividade (condições de lavoura mais tecnificada), apenas a linhagem 82 PVMX 1637 (50) mostrou comportamento previsível, embora uma melhor indicação para tais condições fossem os genótipos: 82 PVMX 1638 (41), Cornell 49242 (37), LM 10402-0 (18) e A 266 (55), que apresentaram rendimentos médios superiores.

Uma maneira alternativa para avaliação dos genótipos cujas respostas em condições mais e menos favorecidas não mostraram diferenças significativas, seria a estimativa dos parâmetros por um método de regressão linear simples. Cruz et al. (1989) sugerem o método de Eberhart & Russel (1966). Observando a magnitude das estimativas R^2_j e r^2_j (Tabela 2), obtidas pelos dois métodos, nota-se que R^2_j nunca foi inferior a r^2_j . Isto indica que mesmo para os casos em que o comportamento responsivo de um genótipo não diferiu de linearidade, o modelo da regressão segmentada ajustou-se melhor aos dados experimentais do que o modelo de regressão linear simples.

Observando a proporção dos genótipos com estimativas de coeficientes de determinação significativas e não-significativas, ao nível de 5% de probabilidade, dentro dos dois métodos, nota-se, ainda, que 80,3% dos genótipos tiveram seus comportamentos satisfatoriamente explicados pela regressão segmentada, enquanto 69,7% o foram pela regressão linear. Considerando que estes valores diferem entre si pelo teste de X^2 ao nível de 20% de probabilidade, isto indica uma certa superioridade do método de Silva & Barreto (1985), modificado por Cruz et al. (1989), sobre o de Eberhart & Russell (1966). Esta superioridade esteve no mesmo nível da que foi demonstrada pelo método de Silva & Barreto (1985) original, verificada por Duarte (1988).

Deve-se considerar, ainda, que uma porção razoável dos genótipos avaliados (19,7%) não tiveram seus comportamentos satisfatoriamente explicados nem mesmo pela regressão

segmentada. Isto sugere que a investigação de modelos alternativos para estudo da adaptação e estabilidade fenotípica deve prosseguir.

Uma questão que poderia surgir seria até que ponto são válidas tais inferências, considerando que estes modelos geralmente assumem o efeito de genótipos como fixos, uma vez que eles não foram escolhidos aleatoriamente numa população, mas selecionados dentro dela. Duarte (1988), estudando este mesmo grupo de genótipos, encontrou evidências estatísticas para considerá-lo uma amostra representativa de uma população normal. Considerando, também, que o tamanho da amostra utilizada (76 entradas) é relativamente grande em termos estatísticos, talvez possa-se considerar este grupo como representativo de uma população maior (grupo "mulatinho", incluindo os tipos com grãos pequenos e hábitos de crescimento II e III).

CONCLUSÕES

1. A maioria dos genótipos mostrou tendência a tornarem-se menos responsivos na medida em que as condições ambientais melhoraram, inclusive cultivares extensivamente plantados no Brasil mesmo em condições de alta tecnologia. Isto sugere que pode estar havendo um desperdício de insumos com cultivares pouco responsivos.

2. Destacaram-se quanto à produtividade de grãos e estabilidade de comportamento os seguintes genótipos: 82 PVMX 1638, Cornell 49242, LM 10402-0 e A 266, de adaptação a ambientes de alta produtividade; e ESAL 506, EMGOPA 201 (Ouro), LM 21306-0, A 344 e L 10111, de adaptabilidade geral (produtivos em toda a amplitude de ambientes).

3. Um quarto (25%) dos genótipos avaliados mostrou respostas diferenciadas quando cultivados em ambientes favoráveis ou desfavoráveis, evidenciando a importância da utilização de modelos alternativos como a regressão segmentada para a descrição do comportamento genotípico às variações ambientais.

4. A regressão linear simples, embora de

grande importância para o estudo da adaptação e estabilidade fenotípica, mostrou-se inferior à regressão linear bi-segmentada quanto à capacidade de explicar a variação nos dados de produtividade de grãos.

AGRADECIMENTOS

A Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia (EPABA), à Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), ao Centro Nacional de Pesquisa de Coco (CNPQ), ao Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia (CPAF-Rondônia) e ao Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre (CPAF-Acre), pela utilização de seus dados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A de A.; VENCOSKY, R. An alternative to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*. v.12, p.567-580, 1989.
- DUARTE, J.B. *Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em linhagens e cultivares de feijão mulatinho (Phaseolus vulgaris L.)*. Goiânia: EA/UFG, 1988. 155p. Tese de Mestrado.
- EASTON, H.S.; CLEMENTS, R.J. The interaction of wheat genotypes with a specific factor of the environment. *Journal of Agriculture Science*, v.80, p.43-52, 1973.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, v.6, p.36-40, 1966.
- JOWETT, D. Yield stability parameters for sorghum in east Africa. *Crop Science*, v.12, p.314-317, 1972.
- MORAIS, O.P. de. *Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (Oryza sativa L.)*. Viçosa: UFV, 1980. 70p. Tese de Mestrado.
- OLIVEIRA, A.C. de. *Comparação de alguns métodos de determinação da estabilidade em*

- plantas cultivadas.** Brasília: UnB, 1976. 64p. Tese de Mestrado.
- PEIXOTO, T.C.; SILVA, J.G.C. da; BARRETO, J.N. Técnicas de análise de interação genótipo por ambiente e estabilidade de clones de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1., 1985, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.243-258.
- RIEDE, C.R.; BARRETO, J.N. Estudo da estabilidade de cultivares de trigo recomendadas para as regiões norte e oeste do estado do Paraná. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1., 1985, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.227-242.
- SILVA, J.G.C. da; BARRETO, J.N. Aplicação de regressão linear segmentada em estudos de interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 1., 1985, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.49-59.
- 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.