

## Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de caupi enramador de tegumento mulato<sup>(1)</sup>

Francisco Rodrigues Freire Filho<sup>(2)</sup>, Valdenir Queiroz Ribeiro<sup>(2)</sup>, Maurisrael de Moura Rocha<sup>(2)</sup> e Ângela Celis de Almeida Lopes<sup>(3)</sup>

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade da produtividade de grãos de 16 genótipos de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) utilizando o modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa. Os ensaios foram realizados em nove ambientes, locais e anos, da região Meio-Norte do Brasil, Estados do Piauí (PI) e Maranhão (MA), no período de 1999 a 2001. Os efeitos de ambientes e interação genótipos x ambientes, e os dois primeiros eixos da análise de componentes principais da interação foram significativos ( $P < 0,01$ ). A análise de componentes principais explicou 61,25% da soma de quadrados da interação genótipos x ambientes. Os genótipos TE93-244-23F e TE93-213-12F-1 reuniram genes para adaptabilidade e estabilidade, os quais podem ser cultivados em todos os ambientes. Os genótipos BR 17-Gurguéia, Canapuzinho e EPACE-10 apresentaram as maiores médias de produtividade, mas foram instáveis e com adaptação específica a ambientes de alta qualidade. Os ambientes mais favoráveis para a produtividade de grãos foram Bom Jesus, PI, 2000; Palmeira do Piauí, PI, 2001 e Sambaíba, MA, 2000. Não houve tendência de agrupamento de locais por Estado e a distribuição foi equilibrada em termos de qualidade ambiental.

Termos para indexação: *Vigna unguiculata*, interação genótipo-ambiente, previsibilidade.

### Adaptability and stability of grain yield in climbing and brown coat cowpea genotypes

Abstract – The objective of this work was to evaluate the adaptability and the grain yield stability of 16 cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes using the additive main effects and multiplicative interaction model. The trials were carried out at nine environments, locations and years, of the Middle-North region of Brazil, states of Piauí (PI) and Maranhão (MA), in the period from 1999 to 2001. Environments and genotype x environment interaction effects, and the first two axes of the analysis of principal component of the interaction were significant ( $P < 0.01$ ). The analysis of principal components explained 61.25% of the sum of squares of the genotype x environment interaction. TE93-244-23F and TE93-210-12F-1 genotypes gathered genes for adaptability and stability, and can be cultivated in all environments. BR 17-Gurguéia, Canapuzinho and EPACE-10 genotypes presented the highest yield averages, but were unstable and with specific adaptation to environments of high quality. The environments more favorable were Bom Jesus, PI, 2000; Palmeira do Piauí, PI, 2001, and Sambaíba, MA, 2000. There was no tendency of locations grouping by State and the distribution was balanced in terms of environmental quality.

Index terms: *Vigna unguiculata*, genotype environment interaction, predictability.

<sup>(1)</sup> Aceito para publicação em 12 de março de 2003.

<sup>(2)</sup> Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64006-220 Teresina, PI. E-mail: freire@cpamn.embrapa.br, valdenir@cpamn.embrapa.br, mmrocha@cpamn.embrapa.br

<sup>(3)</sup> Universidade Federal do Piauí, Dep. de Biologia, Centro de Ciências da Natureza, Campus Ministro Petrônio Portela, Bloco 2, FG 1, Ininga, CEP 64049-550 Teresina, PI. E-mail: acalopes@bol.com.br

### Introdução

A estabilidade e a adaptabilidade de genótipos são características importantes que devem receber muita atenção nos programas de melhoramento. A adaptabilidade refere-se à capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente e a estabilidade diz respeito à capacida-

de de os genótipos mostrarem comportamento altamente previsível em razão do estímulo do ambiente (Cruz & Regazzi, 1994).

A estabilidade e a adaptabilidade, em feijão caupi, têm sido estudadas em vários trabalhos, com a predominância do uso de metodologias que utilizam regressão linear (Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russel, 1966). Esses estudos têm subsidiado o melhoramento e o lançamento de cultivares em vários estados do Nordeste (Fernandes et al., 1990, 1993; Miranda et al., 1992, 1997; Santos et al., 2000; Freire Filho et al., 2001, 2002).

A regressão linear, entretanto, por ser um modelo aditivo, pode não descrever satisfatoriamente o comportamento dos genótipos nos ambientes (Yau, 1995) e depende do grau de influência dos efeitos ambientais sobre os genótipos (Rocha, 2002). Ela explica muito pouco da heterogeneidade da regressão e pode falhar nos casos em que ocorre grande diversidade ambiental (Crossa, 1990). Diante dessas limitações, modelos alternativos de análises têm sido buscados, no sentido de explicar melhor a interação genótipos x ambientes (GxE). Atualmente, vem aumentando o uso do modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI), que combina a análise de variância dos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes com a análise de componentes principais do efeito multiplicativo da interação GxE (Zobel et al., 1988; Duarte & Vencovsky, 1999).

Resultados preliminares confirmam a hipótese de que o primeiro componente principal da interação (CPI1) é superior à análise de regressão linear em explicar a interação GxE. A análise também é eficiente em recuperar o padrão (variação diretamente relacionada ao fenômeno da interação GxE e de interesse agrônomico) e descartar o ruído (variação aleatória não relacionada ao fenômeno da interação GxE, resultante, principalmente, de efeitos microambientais) presente na variação total, contida dentro da soma de quadrados da interação GxE ( $SQ_{GxE}$ ). Por esta abordagem, somente o padrão é incluído no modelo, por reter apenas os CPI significativos em seu termo multiplicativo (Zobel et al., 1988; Annicchiarico, 1997).

O número ótimo de CPI a ser retido no modelo AMMI ou o melhor modelo da família AMMI

(AMMI0, AMMI1, AMMI2, ..., AMMI $n$ ) pode ser determinado por duas abordagens: preditiva e *postdictive* (Fox et al., 1997).

Na abordagem preditiva, a técnica mais usada é a validação cruzada. Nela, os dados originais de repetições são divididos em dois grupos: dados de modelagem (dados de uma repetição) e os dados de validação (dados das demais repetições); os dois grupos são analisados, paralelamente, várias vezes, para cada modelo da família AMMI por reamostragem aleatória dos dados de repetições, que são então comparados tomando-se por base a diferença preditiva média (DPM). O modelo mais preditivo e parcimonioso é aquele com menor DPM (Gauch, 1992; Gauch & Zobel, 1996).

Na abordagem *postdictive* utiliza-se de teste de hipótese para avaliar as significâncias dos CPI ou seus resíduos (resíduo AMMI). O teste F de Gollob (1968) é o mais adotado, por ser de fácil análise. No entanto, outros testes ( $F_{GH2}$  e  $F_R$ ) têm sido sugeridos na literatura e indicados como sendo mais robustos (Piepho, 1995).

Alguns estudos têm sido feitos comparando o modelo AMMI com a regressão linear e a conclusão predominante é que o primeiro tem sido mais eficiente em explicar a interação GxE (Yau, 1995; Annicchiarico, 1997; Pereira & Costa, 1998; Acciaresi & Chidichimo, 1999; Rocha, 2002). No caso do feijão caupi, não há relatos na literatura do uso do modelo AMMI em estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e a estabilidade da produção de grãos de 16 genótipos de feijão caupi utilizando o modelo AMMI.

## Material e Métodos

Foram utilizados dados de produtividade de grãos de caupi de porte enramador e de tegumento mulato dos ensaios estaduais do programa de melhoramento de feijão caupi da Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte, realizados de 1999 a 2001, nos estados do Piauí (PI) e do Maranhão (MA). Os tratamentos consistiram de 16 genótipos (11 linhagens, três cultivares locais e duas cultivares melhoradas): TE90-180-88E (TE86-75-57E X TE $x$ 1-69E), TE93-200-49F (TE86-75-37E-1 X TE89-150-1G), TE93-213-12F-1 (CNC $x$ 252-1E/FV X TE $x$ 4-38E),

TE93-213-12F-2 (CNCx252-1E/FV X TE<sub>x</sub>4-38E), TE93-214-11F (TE<sub>x</sub>4-38E X CNCx252-1E/FV), TE93-244-23F (IPA 206 X TE86-733G), TE94-256-6E (IT89-KD295-1 X IT86D-716), TE94-268-3E (TE87-108-6G X EPACE-10), TE94-269-1E (TE87-108-6G X BR 14-Mulato), TE94-270-4E (TE89-162-14G X EPACE-10), IPA-206(371 X CNCx11-2E), Paulista (Ceará), CanapuRV-1 (Rio Grande do Norte), Canapuzinho (Piauí), EPACE-10 (Seridó X Tvu 1888) e BR 17-Gurguéia (BR 10-Piauí X CE-315). A cultivar BR 17-Gurguéia foi utilizada como testemunha.

Os ambientes de avaliação consistiram da combinação de local e ano, o que resultou em nove ambientes: Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000: BG00; Brejo, MA, 2001: BR01; Barra do Corda, MA, 2001: BC01; Bom Jesus, PI, 2000: BJ00; Castelo do Piauí, PI, 1999: CP99; Castelo do Piauí, PI, 2000: CP00; Palmeira do Piauí, PI, 2001: PA01; Sambaíba, MA, 2000: SA00; Teresina, PI, 2000: TE00).

Todos os ensaios foram realizados no período de sequeiro (verão), considerado a época das chuvas na região Meio-Norte. O plantio ocorreu entre a última semana do mês de janeiro (Piauí) e a primeira de fevereiro (Maranhão), de forma que a colheita ocorresse sempre no final das chuvas. A adubação foi realizada atendendo às recomendações para os solos de cada local, geralmente com a aplicação de 40 a 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e de 20 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O uso de adubos nitrogenados não foi muito freqüente, tendo em vista que o feijão caupi é uma leguminosa que se beneficia da associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*. Os tratos culturais consistiram do uso de herbicida e capina complementar para o controle de ervas daninhas. Foi aplicado inseticida para controle de insetos mastigadores (vaquinhas e lagartas) e sugadores (pulgões, percevejos e tripses), quando necessário.

Em todos os ensaios, utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela compreendeu quatro fileiras, e a área útil foi representada pelas duas fileiras centrais. Em alguns ensaios as parcelas tiveram as dimensões de 2x5 m e em outros de 3x5 m, de acordo com o espaçamento entre fileiras, que foram de 0,50 e 0,75 m, respectivamente. Em ambas as parcelas, o espaçamento entre plantas dentro da fileira foi de 0,25 m. Os dados foram padronizados para uma mesma unidade de área.

A adaptabilidade e a estabilidade foram analisadas pelo modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI), o qual representa um modelo linear e bilinear, compreendendo uma análise integrada em que os efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes foram investigados pela análise de variância, e o efeito

multiplicativo da interação genótipos x ambientes (GxE) foi decomposto pela análise de componentes principais (ACP). A análise foi realizada utilizando o programa SAS (SAS Institute, 1997), de acordo com o algoritmo sugerido por Duarte & Vencovsky (1999). Esta considerou os efeitos de genótipos e ambientes como fixos. Foi adotado o modelo conforme a equação:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij},$$

em que:  $Y_{ij}$  é a média do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;  $\mu$  é a média geral;  $g_i$  e  $e_j$  são os efeitos do  $i$ -ésimo genótipo e  $j$ -ésimo ambiente, respectivamente;  $\lambda_k$  é o  $k$ -ésimo valor singular da matriz GxE;  $\gamma_{ik}$  e  $\alpha_{jk}$  são os  $k$ -ésimos valores singulares correspondentes ao  $i$ -ésimo genótipo e  $j$ -ésimo ambiente, respectivamente;  $\rho_{ij}$  é o resíduo da interação GxE;  $n$  é o número de eixos ou CPI retidos pelo modelo; e  $\varepsilon_{ij}$  é o erro experimental médio.

A seleção do modelo AMMI foi realizada segundo o critério *postdictive*, pelo teste  $F_R$  apresentado por Piepho (1995), de acordo com a equação:

$$F_{R,n} = (SQ_{GxE} - \sum_{k=1}^n \lambda_k^2) / (f_2 \cdot QM_{\text{Erro médio}}),$$

com  $f_2 = (g-1)(e-1-n)$ , correspondendo ao número de graus de liberdade associados a cada parcela da interação GxE, definidos por Gollob (1968).

Este critério baseia-se na análise do ruído (resíduo de cada CPI ou eixo da interação, representando a variação aleatória não relacionada com o fenômeno da interação genótipos x ambientes), sendo selecionado aquele modelo da família AMMI que engloba pela primeira vez um eixo em que seu resíduo não seja significativo pelo teste  $F_R$ . Um modelo preditivo e parcimonioso é aquele que contempla poucos eixos, no máximo três; consumindo, assim, poucos graus de liberdade.

A interpretação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos e ambientes foi feita com base na análise gráfica em *biplot*. Segundo Duarte & Vencovsky (1999), o termo *biplot* se refere a um tipo de gráfico contendo duas categorias de pontos ou marcadores; no caso, um referindo-se a genótipos e outro a ambientes.

## Resultados e Discussão

A análise de variância mostrou que apenas os efeitos de ambientes e da interação GxE foram significativos ( $P < 0,01$ ) (Tabela 1). Esse resultado indica que os genótipos apresentaram comportamento diferenciado com os ambientes, o que justifica estudo mais aprofundado sobre o comportamento das linha-

gens para identificar suas magnitudes de interação com os ambientes.

Na análise AMMI, a  $SQ_{G \times E}$  foi decomposta em oito CPIs; no entanto, somente os dois primeiros eixos (CPI1 e CPI2) foram significativos pelo teste F de Gollob (1968) e explicaram, respectivamente, 37,50% e 23,75%, englobando um total de 61,25% da  $SQ_{G \times E}$  (Tabela 1). Para efeito de interpretação, são mostrados apenas os dois primeiros CPIs, já que o resíduo do CPI2 foi não significativo pelo teste  $F_R$  (Piepho, 1995). Isto indica que o modelo mais preditivo é o AMMI2. Portanto, este foi selecionado para o estudo da estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e ambientes.

No Brasil, ainda não há relatos na literatura do uso da análise AMMI em feijão caupi, e os resultados obtidos são em relação ao feijão comum (Borges et al., 2000), batata (Pereira & Costa, 1998) e soja (Rocha, 2002). Nos dois primeiros trabalhos, o CPI1 explicou 43% e 44% da  $SQ_{G \times E}$ , respectivamente; enquanto em soja, o CPI1 explicou de 23% a 39% da  $SQ_{G \times E}$ .

Nos trabalhos citados, a variação explicada pelo CPI1, em relação à  $SQ_{G \times E}$  total, foi maior no caso de feijão e batata, e menor no caso da soja, quando comparada à obtida no presente trabalho. Nos resultados de Borges et al. (2000), o padrão foi distribuído em mais de dois eixos e os autores concluíram que a análise AMMI foi ineficiente para explicar a interação. Já nos resultados de Rocha (2002), a exemplo do que ocorreu no presente trabalho, a variação explicada pelos dois primeiros eixos foi baixa, mas a maioria desta foi padrão (poucos eixos significati-

vos pelo teste F e muitos eixos – resíduo – não-significativos pelo teste  $F_R$ ).

A não-significância do resíduo indica que a variação contida nos demais eixos (CPI3 ao CPI8) é desprezível e contém apenas ruído (variação aleatória não relacionada com o fenômeno da interação), que pode diminuir a eficiência da interpretação da estabilidade dos genótipos e ambientes na análise gráfica. Assim, a interpretação gráfica, considerando apenas a variação contida nos dois primeiros eixos da ACP, é suficiente para avaliar a estabilidade dos genótipos e ambientes (Rocha, 2002).

A presença significativa de ruídos (variação não relacionada com a interação  $G \times E$ ) dentro da  $SQ_{G \times E}$  pode ser atribuída à influência de fatores aleatórios (Nachit et al., 1992), mas também decorrente da grande variabilidade ambiental, o que contribui para diminuir o padrão adjacente à interação  $G \times E$  nos primeiros eixos da ACP. Segundo Annicchiarico (1997), ambientes localizados em regiões tropicais são mais propensos à ocorrência de estresses ambientais.

No presente trabalho, a irregularidade pluviométrica, comum em todos os ambientes de avaliação, pode ter sido um dos principais fatores em termos de estresse ambiental. Isto pode determinar a ocorrência de ambientes contrastantes, gerar uma grande variação quanto a ambientes e contribuir para aumentar a variação não explicável (ruído) em detrimento da variação diretamente relacionada à interação  $G \times E$  (padrão).

Após descartar a variação não relacionada com a interação, as médias dos genótipos e ambientes foram preditas com base na variação da interação  $G \times E$

**Tabela 1.** Análise de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa para o caráter produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 16 genótipos de feijão caupi, avaliados em nove ambientes do Meio-Norte do Brasil.

Causas de variação	GL	QM	% $SQ_{G \times E}/CPI^{(1)}$	% $SQ_{G \times E}$ Acumulada
Genótipos (G)	15	24.224 <sup>ns</sup>	-	-
Ambientes (E)	8	4.048.729**	-	-
$G \times E$	120	23.134**	-	-
CPI1	22	47.320**	37,50	37,50
Resíduo <sub>AMMI1</sub>	98	17.705**	-	62,50
CPI2	20	32.966**	23,75	61,25
Resíduo <sub>AMMI2</sub>	78	13.791 <sup>ns</sup>	-	38,75
Erro médio/ $r^{(2)}$	404	11.438		-
CV (%)	14,32			

<sup>(1)</sup>Porcentagem da soma de quadrados da interação genótipos x ambientes captada por CPI (Componente Principal da Interação). <sup>(2)</sup>Número de repetições.

<sup>ns</sup>Não-significativo. \*\*Significativo a 1% de probabilidade.

presente nos dois primeiros CPI ou com base no modelo AMMI2 (Tabela 2). Três genótipos apresentaram médias na faixa de 1.100 a 1.200 kg ha<sup>-1</sup>, 12 na faixa de 1.000 a 1.100 kg ha<sup>-1</sup> e um na faixa de 900 a 1.000 kg ha<sup>-1</sup>. Em relação a ambientes, as médias preditas variaram de 163 kg ha<sup>-1</sup> em TE00 a 2.250 kg ha<sup>-1</sup> em SA00.

Os gráficos na forma de *biplot* (AMMI1 e AMMI2) foram utilizados para analisar a dispersão da variação dos genótipos e ambientes e da interação entre estes. O *biplot* AMMI1 contém a variação dos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes, visualizada na horizontal do gráfico (eixo das abcissas), e a variação dos efeitos multiplicativos da interação GxE, visualizada na vertical (eixo das ordenadas). No *biplot* AMMI2 são visualizados apenas os efeitos multiplicativos da interação GxE contidos nos dois primeiros CPI e dispersos em ambas as ordenadas do gráfico.

Quanto aos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes, observou-se pouca variação entre genótipos, que se agruparam em uma coluna em torno da média geral, relativamente aos efeitos de ambientes, que apresentaram alta variabilidade (Fi-

gura 1). Isto sugere que estes interagiram fortemente com fatores macroambientais (locais, anos) ou microambientais (erros estocásticos ou aleatórios); consequentemente, o efeito multiplicativo da interação GxE, também foi bastante disperso.

O coeficiente de variância médio dos experimentos sugeriu bom padrão de precisão experimental na obtenção das médias de produtividade de grãos (Tabela 1), assim a baixa variabilidade do efeito de genótipos pode ter sido causada pelo parentesco existente entre estes, como, por exemplo, entre as linhagens TE93-200-49F, TE93-213-12F-1, TE93-213-12F-2 e TE93-214-11F, e entre as linhagens TE94-268-3E e TE94-270-4E. Outro fator que pode ter contribuído para a redução da variabilidade genética foi a forte pressão de seleção para aumentar o peso de 100 grãos e outros componentes de produtividade voltados para a qualidade, na fase de avaliação preliminar das linhagens. Baixa variabilidade de genótipos de feijão caupi também foi obtida por Freire Filho et al. (2002), em estudo sobre adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

Para efeito de interpretação dos resultados quanto à adaptabilidade e estabilidade, no presente tra-

**Tabela 2.** Médias preditas para o caráter produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) pelo modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa, considerando apenas os dois primeiros eixos da análise de componentes principais da interação (AMMI2) para 16 genótipos e nove ambientes do Meio-Norte do Brasil.

Genótipo	Ambiente <sup>(1)</sup>									Média
	TE00	CP99	CP00	PA01	BJ00	BG00	BR01	BC01	SA00	
TE93-200-49F	439	559	1.010	1.528	1.261	1.007	748	909	2.107	1.063
TE93-213-2F-1	446	498	1.086	1.558	1.200	1.290	733	1.052	1.962	1.092
TE93-213-12F-2	369	413	1.014	1.455	1.103	1.224	634	963	1.851	1.003
TE93-214-11F	494	531	1.133	1.438	1.158	1.277	661	967	1.876	1.059
TE93-244-23F	438	503	1.064	1.540	1.203	1.225	725	1.013	1.980	1.077
TE94-256-6E	439	554	1.002	1.391	1.196	927	654	786	2.016	996
TE94-268-3E	394	452	1.027	1.481	1.144	1.200	667	967	1.909	1.027
TE94-269-1E	426	584	966	1.559	1.310	883	785	875	2.210	1.066
TE94-270-4E	440	517	1.050	1.501	1.201	1.151	707	955	1.989	1.057
TE90-180-88E	472	553	1.069	1.419	1.188	1.090	665	874	1.962	1.033
Paulista	163	289	773	1.709	1.189	1.038	778	1.059	2.108	1.012
CanapuRV-1	235	353	847	1.726	1.228	1.101	810	1.092	2.129	1.058
IPA-206	415	506	1.007	1.418	1.166	1.032	651	852	1.963	1.001
EPACE-10	298	423	910	1.860	1.330	1.188	924	1.211	2.250	1.155
Canapuzinho	431	396	1.164	1.634	1.126	1.673	731	1.271	1.789	1.135
BR 17-Gurguéia <sup>(2)</sup>	603	587	1.289	1.509	1.191	1.556	716	1.127	1.837	1.157
Média	406	482	1.026	1.545	1.200	1.179	724	998	1.996	

<sup>(1)</sup>BC01: Barra do Corda, MA, 2001; BG00: Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000; BJ00: Bom Jesus, PI, 2000; BR01: Brejo, MA, 2001; CP99: Castelo do Piauí, PI, 1999; CP00: Castelo do Piauí, PI, 2000; PA01: Palmeira do Piauí, PI, 2001; SA00: Sambaíba, MA, 2000; TE00: Teresina, PI, 2000.

<sup>(2)</sup>Testemunha.

balho a expressão alta adaptabilidade será utilizada como sinônimo de alta produtividade, e a expressão ampla adaptabilidade, como sinônimo de alta estabilidade.

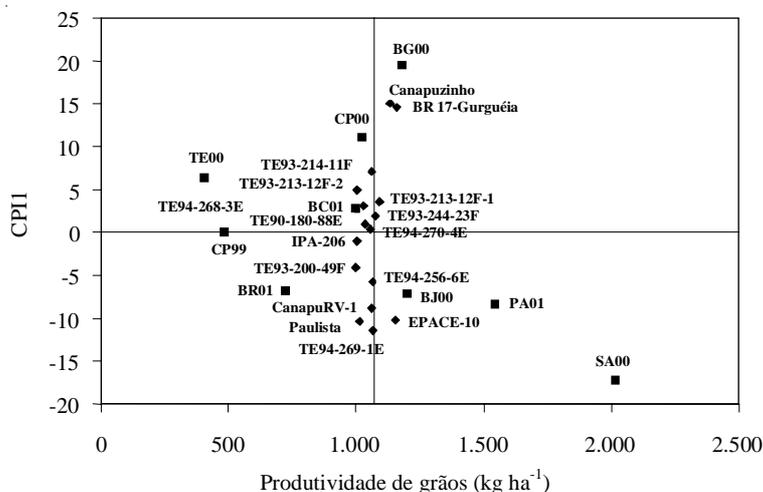
Os genótipos mais produtivos foram BR 17-Gurguéia, EPACE-10, Canapuzinho, TE93-213-12F-1, TE93-244-23F e TE94-269-1E, com produtividades acima da média geral (1.062 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 1). Os genótipos mais estáveis foram TE93-244-23F, TE93-213-12F-1, TE94-268-3E e TE94-270-4E (Figuras 1 e 2). Estes podem ser cultivados em todos os locais onde foram feitos os estudos. Entre estes, apenas os genótipos TE93-213-12F-1 e TE93-244-23F apresentaram produtividades acima da média geral. Entre os dois grupos (produtivos e estáveis), apenas os genótipos TE93-213-12F-1 e TE93-244-23F foram comuns aos dois grupos, indicando que esses genótipos associaram adaptabilidade com estabilidade.

Os genótipos TE93-213-12F-1, TE93-213-12F-2, TE93-244-23F, TE94-268-3E e TE94-270-4E apresentaram similaridade em termos de interação associada

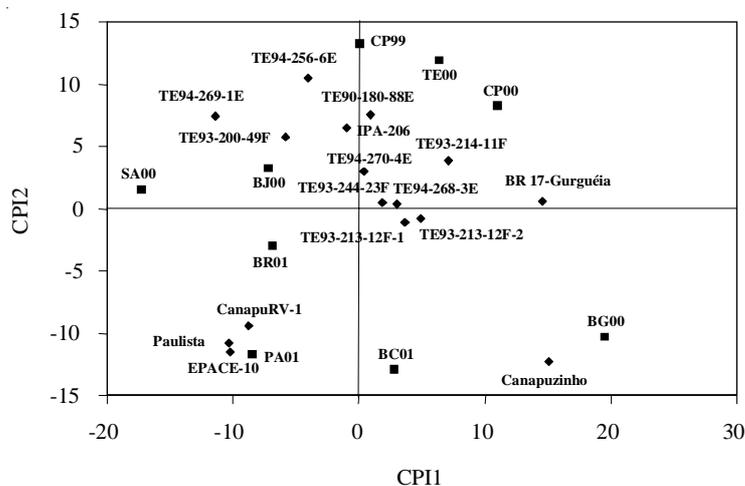
à estabilidade, ao passo que os genótipos Paulista, CanapuRV-1 e EPACE-10 mostraram similaridade quanto à interação associada à instabilidade (Figura 1). Houve similaridades de interação entre os genótipos TE93-200-49F, TE94-256-6E e TE94-269-1E, e entre TE90-180-88E e IPA-206. Para estes genótipos, a similaridade em termos de interação não foi acompanhada de similaridade genética, já que não se observou parental comum em suas genealogias.

Os genótipos EPACE-10, Canapuzinho e BR 17-Gurguéia apresentaram as maiores médias, mas mostraram adaptabilidade específica a ambientes associados com altas médias, como Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000, e Palmeira do Piauí, PI, 2001 (Figuras 1 e 2). Santos et al. (2000) e Freire Filho et al. (2002), avaliando um grupo de genótipos de feijão caupi sob cultivo de sequeiro e utilizando o método de Eberhart & Russel (1966), também identificaram alta adaptabilidade da cultivar BR 17-Gurguéia.

Os ambientes mais favoráveis foram Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000; Bom Jesus, PI, 2000; Sambaíba, MA, 2000, e Palmeira do Piauí, PI, 2001.



**Figura 1.** Biplot AMMI1 ou modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa, considerando apenas o primeiro eixo da análise de componentes principais da interação (CPI1) x produtividade de grãos, de 16 genótipos (◆) de feijão caupi, avaliados em nove ambientes (■) do Meio-Norte do Brasil (BC01: Barra do Corda, MA, 2001; BG00: Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000; BJ00: Bom Jesus, PI, 2000; BR01: Brejo, MA, 2001; CP99: Castelo do Piauí, PI, 1999; CP00: Castelo do Piauí, PI, 2000; PA01: Palmeira do Piauí, PI, 2001; SA00: Sambaíba, MA, 2000; TE00: Teresina, PI, 2000).



**Figura 2.** Biplot AMMI2 ou modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa, considerando os dois primeiros eixos da análise de componentes principais: primeiro componente principal da interação (CPI1) x segundo componente principal da interação (CPI2), de 16 genótipos (♦) de feijão caupi, avaliados em nove ambientes (■) do Meio-Norte do Brasil (BC01: Barra do Corda, MA, 2001; BG00: Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000; BJ00: Bom Jesus, PI, 2000; BR01: Brejo, MA, 2001; CP99: Castelo do Piauí, PI, 1999; CP00: Castelo do Piauí, PI, 2000; PA01: Palmeira do Piauí, PI, 2001; SA00: Sambaíba, MA, 2000; TE00: Teresina, PI, 2000).

## Conclusões

1. Os genótipos TE93-244-23F e TE93-213-12F-1 reúnem genes que conferem adaptabilidade e estabilidade e podem ser cultivados em todos os ambientes estudados.
2. Os genótipos Canapuzinho, BR 17-Gurguéia e EPACE-10 expressam melhor seu potencial produtivo em ambientes de alta qualidade.
3. Os ambientes Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000, Bom Jesus, PI, 2000, Sambaíba, MA, 2000 e Palmeira do Piauí, PI, 2001 apresentam boa adaptabilidade, porém apenas os dois primeiros são previsíveis.
4. A interação genótipos x ambientes é variável dentro e homogênea entre os estados do Piauí e Maranhão em termos de qualidade ambiental.

## Referências

- ACCIARESI, H. A.; CHIDICHIMO, H. O. Interacción genotipo-ambiente en *Avena sativa* L. utilizando los modelos AMMI y factorial de correspondencias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1823-1830, out. 1999.
- ANNICCHIARICO, P. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. **Euphytica**, Dordrecht, v. 94, n. 1, p. 53-62, 1997.
- BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 269, p. 89-102, 2000.
- CROSSA, J. Statistical analysis of multilocal trials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 44, p. 55-85, 1990.

- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.
- DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise "AMMI"**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 63 p. (Série Monografias, 9).
- EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.
- FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; SIMPLÍCIO, A. A.; BEZERRA NETO, F.; TORRES, J.; REGO NETO, J. Comportamento ambiental e estabilidade produtiva de cultivares de caupi no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 11, p. 1555-1560, nov. 1990.
- FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; SOUZA, N. A.; CHAGAS, M. C. M. Adaptabilidade ambiental e incidência de viroses em cultivares de caupi no Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 33-37, jan. 1993.
- FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 14, p. 742-754, 1963.
- FOX, P. N.; CROSSA, J.; ROMAGOSA, I. Multi-environmental testing and genotype x environment interaction. In: KENPTON, R. A.; FOX, P. N. (Ed.). **Statistical methods for plant variety evaluation**. London: Chapman & Hall, 1997. p. 117-138.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de linhagens de caupi de porte enramador. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 49, n. 234, p. 383-393, 2002.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. A. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos de genótipos de caupi de porte semi-ereto. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 6, n. 2, p. 31-39, 2001.
- GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs**. New York: Elsevier Science, 1992. 278 p.
- GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.). **Genotype-by-environment interaction**. New York: CRC Press, 1996. 416 p.
- GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, Baltimore, v. 33, n. 1, p. 73-115, 1968.
- MIRANDA, P.; COSTA, A. F.; OLIVEIRA, L. R.; TAVARES, J. A.; PIMENTEL, M. L.; LINS, G. M. L. Comportamento de cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., nos sistemas solteiro e consorciado - I: tipo ramador. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 23, n. 1/2, p. 9-19, 1992.
- MIRANDA, P.; COSTA, A. F.; OLIVEIRA, L. R.; TAVARES, J. A.; PIMENTEL, M. L.; LINS, G. M. L. Comportamento de cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp., nos sistemas solteiro e consorciado - III: tipo ramador. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 10, p. 67-76, 1997. Número especial.
- NACHIT, M. M.; NACHIT, G.; KETATA, H.; GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Use of AMMI and linear regression models to analyze genotype-environment interaction in durum wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 83, n. 5, p. 597-601, 1992.
- PEREIRA, A. S.; COSTA, D. M. Análise de estabilidade de produção de genótipos de batata no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 405-409, abr. 1998.
- PIEPHO, H. P. Robustness of statistical test for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trial. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 90, n. 3/4, p. 438-443, 1995.
- ROCHA, M. M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. 2002. 174 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.
- SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P.; MENEZES, E. A. Comportamento produtivo de caupi em regimes irrigado e de sequeiro em Petrolina e Juazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2229-2234, nov. 2000.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS/STAT software: changes and enhancements through release 6.12**. Cary, 1997. 1116 p.
- YAU, S. K. Regression and AMMI analyses of genotype x environment interactions: an empirical comparison. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 1, p. 121-126, 1995.
- ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 3, p. 388-393, 1988.