

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO CAUPI SEMI-ERETO UTILIZANDO O MODELO AMMI

Francisco Rodrigues Freire Filho¹, Maurisrael de Moura Rocha¹, Valdenir Queiroz Ribeiro², Ângela Celis de Almeida Lopes³

Palavras-Chaves: *Vigna unguiculata*, interação genótipos x ambientes, previsibilidade.

INTRODUÇÃO

O uso de regressão linear representa a forma mais comum para acessar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos. Entre esses, o método proposto por Eberhart & Russel (1966) tem sido o mais utilizado em feijão caupi (Freire Filho et al., 2001, 2002). O método AMMI (efeitos aditivos principais e interação multiplicativa) vem ganhando espaço em uso. Este representa um modelo linear e bi-linear que integra a análise de variância (ANAVA) para efeitos aditivos principais (genótipos e ambientes) com a análise de componentes principais (ACP) para o efeito multiplicativo da interação genótipos x ambientes (G x E) (Gauch & Zobel, 1996). O objetivo deste trabalho foi analisar a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão caupi semi-ereto de tegumento branco utilizando o modelo AMMI.

MATERIAL E MÉTODOS

Avaliaram-se 16 genótipos de feijão caupi de porte semi-ereto e tegumento branco (G1 = IT81D-994; G2 = IT86D-716-2; G3 = IT87D-195-1; G4 = CB-3; G5 = CNCx1132-4E; G6 = TE96-282-22G; G7 = TE97-411-3E; G8 = TE97-411-1E; G9 = TE97-411-2E; G10 = TE97-411-2E; G11 = TE97-413-1E; G12 = TE97-411-2E; G13 = TE97-413-3E; G14 = IT845-2135; G15 = IT6D-179-2; G16 = IT87D-1627) para o caráter produtividade de grãos em experimentos conduzidos em 13 ambientes, combinação de ano e local (SD99 = São Domingos-MA, 1999; BR01 = Brejo-MA, 2001; BC00 = Barra do Corda-MA, 2000; BC01 = Barra do Corda-MA, 2001;

¹Eng. Agr., D. Sc., Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64006-220, Teresina-PI. E-mail: freire@cpamn.embrapa.br; mmrocha@cpamn.embrapa.br

²Eng. Agr., M. Sc., Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64006-220, Teresina-PI. E-mail: valdenir@cpamn.embrapa.br

³Eng. Agr., D. Sc., Departamento de Biologia, UFPI, CEP 64049-550, Teresina-PI. E-mail: acalopes@bol.com.br

BG00 = Baixa Grande do Ribeiro-PI, 2000; BG01 = Baixa Grande do Ribeiro-PI, 2001; PA01 = Palmeira do Piauí-PI, 2001; SA01 = Sambaíba-MA, 2001; TE00 = Teresina-PI, 2000; TE01 = Teresina-PI, 2001; AN00 = Anapurus-MA, 2000; CP00 = Castelo do Piauí-PI, 2000; BJ00 = Bom Jesus-PI, 2000). O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas tiveram dimensões de 2,0 m x 5,0 m. O espaçamento adotado foi de 0,5 m entre fileiras. A área útil da parcela foi representada pelas duas fileiras centrais.

A análise AMMI foi realizada em duas etapas seqüenciais: 1) os efeitos principais, na parte aditiva (média geral, efeitos de genótipos e ambientes), foram ajustados por ANAVA, resultando em um resíduo de não aditividade (interação G x E) e 2) a interação (parte multiplicativa do modelo) foi analisada pela ACP. O modelo geral foi de acordo com aquele apresentado por Duarte & Vencovsky (1999), segundo a equação:

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

sendo: μ : a média geral; g_i : o efeito principal do genótipo i ; e_j : o efeito principal do ambiente j ; λ_k : é o autovalor do k -ésimo componente principal da interação (CPI) retido no modelo AMMI; γ_{ik} : é o autovetor do i -ésimo genótipo no k -ésimo CPI; α_{jk} : é o autovetor do j -ésimo ambiente no k -ésimo CPI; ρ_{ij} : o resíduo da interação G x E ou resíduo AMMI; n : o número de CPI's retidos no modelo; e ε_{ij} : o erro experimental médio. A seleção do melhor modelo AMMI foi realizada através da análise do resíduo AMMI, pelo uso do teste F_R sugerido por Piepho (1995). A interpretação dos resultados foi feita graficamente em *biplot* (Gabriel, 1971).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças significativas ($P < 0,01$) para os efeitos de genótipos, ambientes e interação G x E (Tabela 1). Isto sugere que os genótipos e os ambientes apresentaram variabilidade e que os genótipos comportaram-se diferencialmente com os ambientes.

O efeito de ambientes foi responsável pela quase totalidade da variação de tratamentos (86,21%), seguida pelo efeito da interação G x E (11,67%). A variação para genótipos foi baixa (2,11%), como mostram as estimativas de R^2 (Tabela 1). Isto também é confirmado no *biplot* AMMI1 (Figura 1), onde praticamente todos os genótipos apresentam produtividades médias próximas da média geral ($MG = 1.073$ kg/ha) e a variação ocorrida foi mais no sentido vertical do gráfico (efeito aditivo principal de ambientes) e pouco no sentido horizontal (efeito aditivo principal de genótipos). A grande magnitude para a soma de quadrados (SQ) de ambientes

indica que eles foram variáveis, com grandes diferenças entre médias ambientais causando a maioria da variação para a produtividade de grãos.

Tabela 1. Análise AMMI, compreendendo os quatro primeiros componentes principais da interação (CPI) para o caráter produtividade de grãos (kg/ha) de 16 genótipos de feijão caupi semi-ereto de tegumento branco avaliados em 13 ambientes do Meio-Norte do Brasil.

F.V.	G.L.	Q.M.	R ² (%)
Genótipos (G)	15	114714**	2,11 ¹
Ambientes (E)	12	5837858**	86,21 ¹
G x E	180	52663**	11,67 ¹
CPI1	26	150579**	41,30 ²
Resíduo _{AMMI1}	154	36132**	-
CPI2	24	91840**	23,25 ²
Resíduo _{AMMI2}	130	25847**	-
CPI3	22	50856**	11,80 ²
Resíduo _{AMMI3}	108	20753**	-
CPI4	20	33655**	7,10 ²
Resíduo _{AMMI4}	88	17821 ^{ns}	-
Erro médio/r ³	584	12866	

¹Proporção da SQ_{Tratamentos} captada/G, E ou GxE; ² Proporção da SQ_{G x E} captada/CPI; ³Número de repetições; ** Significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} Não significativo.

A SQ da interação G x E (SQ_{GxE}) foi decomposta em 12 CPIs; no entanto, apenas os CPIs que exibiram significância pelo teste F são mostrados na Tabela 1, sendo os demais eixos incluídos como resíduo AMMI do último CPI significativo. A análise mostrou que os quatro primeiros CPIs foram significativos (P < 0,01). O ponto de parada para a seleção do modelo AMMI foi o CPI em que seu resíduo exibiu não significância (critério adotado por Piepho, 1995), no caso, o CPI4; assim, o modelo selecionado foi o AMMI4.

O padrão da interação G x E presente dentro da SQ_{GxE} foi alto (83,45% da SQ_{GxE}) quando comparado à variação aleatória ou ruído (16,55%), presente em maior proporção nos demais eixos. Embora os quatro primeiros eixos contenham padrão de interação, a grande maioria deste se concentrou nos dois primeiros CPIs (77%). Rocha (2002), comparando a ordem de classificação de genótipos de soja realizada a partir do parâmetro A_i com base em modelos maiores (por exemplo, AMMI4) e modelos reduzidos (por exemplo AMMI2), concluiu que não houve mudança significativa no “ranking” dos genótipos; segundo esse autor, para efeito de estabilidade, a interpretação gráfica pode ser feita com base em modelos reduzidos através dos *biplots* AMMI1 e AMMI2.

O *biplot* AMMI1 (Figura 1) mostra que seis genótipos foram superiores à média geral (MG = 1.073 kg/ha): G3 = USP 93-1188, G5 = USP 93-1044, G6 = USP 93-1043, G7 = USP 93-1042, G12 = e G16 = 94-1024. Destes, somente G6 reuniu estabilidade (baixo escore para a interação) com adaptabilidade (maior produtividade de grãos). Isto é confirmado também no

biplot AMMI2 (Figura 2), pois este está situado mais próximo da intersecção entre as linhas de menor escore para a interação.

Os genótipos 6 e 15, por apresentarem interações mais baixas com os ambientes, podem ser cultivados em todos os locais de avaliação. Os genótipos 3, 7, 9 e 12 por terem interagido mais com os ambientes, são recomendados para ambientes específicos onde eles se adaptem bem, como é o caso de SA01 para G12, e de BG01 para os genótipos 3, 7 e 9 (Figura 2). Estes ambientes foram os mais favoráveis para a produtividade de grãos (Figuras 1 e 2; Tabela 2), no entanto, foram os mais instáveis (Figura 2).

Tabela 2. Médias previstas pelo modelo AMMI4 para o caráter produtividade de grãos (kg/ha) de 16 genótipos de feijão caupi semi-ereto de tegumento branco avaliados em 13 ambientes do Meio-Norte do Brasil.

Genótipo	Ambiente													Média/ genótipo
	BC01	BR01	BG01	PA01	SA01	TE01	BC00	TE00	AN00	CP00	BG00	BJ00	SD99	
1	1157	801	2386	1344	1950	961	1240	734	520	824	534	1091	408	1073
2	1152	904	1939	1363	2063	1046	1239	686	532	911	548	1000	522	1070
3	1183	946	3031	1530	2494	737	1407	661	556	895	546	1210	317	1193
4	540	769	2010	1190	1856	552	838	398	335	517	312	1103	489	839
5	1216	746	2232	1363	2115	1354	1052	685	416	1217	939	988	644	1151
6	1404	822	2481	1487	2456	1446	1196	703	447	1425	1072	971	628	1272
7	993	928	2680	1472	2622	720	1203	451	413	957	578	1070	392	1114
8	1032	874	2220	1387	2563	843	1147	389	337	1017	570	856	379	1047
9	614	860	2975	1444	2741	507	896	233	257	911	649	1182	475	1057
10	1396	719	2094	1282	1799	1203	1311	817	513	924	569	898	341	1067
11	1183	952	1888	1399	2665	869	1308	386	373	1042	457	692	294	1039
12	1132	1090	2026	1524	3158	781	1331	238	346	1191	530	691	338	1106
13	887	934	1838	1356	2553	786	1071	306	322	958	492	819	461	983
14	1075	933	1740	1318	1828	949	1257	740	597	717	382	1059	526	1009
15	1096	891	2226	1380	2192	890	1241	617	494	867	505	1027	429	1066
16	1245	940	1792	1380	2061	1147	1300	737	573	968	572	968	554	1095
Média/ Ambiente	1082	882	2222	1389	2320	925	1190	549	439	959	579	977	450	

Distinguiu-se seis grupos de genótipos com comportamentos mais semelhantes para a interação G x E: grupo 1 (genótipos mais estáveis): G6 e G15; grupos 2, 3 e 4 (genótipos com estabilidades intermediárias): grupo 2 (G2 e G5), grupo 3 (G1 e G4), grupo 4 (G8, G11 e G13); grupos 5 e 6 (genótipos mais instáveis): grupo 5 (G10, G14 e G16) e grupo 6 (G3 e G7) (Figura 2). Os genótipos 9 e 12 ficaram isolados e apresentaram-se como os mais instáveis.

Observou-se três grupos de ambientes com interações mais similares: grupo 1 (ambientes estáveis): BC00, BG00, BR01, PA01 e SD99; grupo 2 (ambientes de interações intermediárias): AN00, BC01, TE00, TE01 e BJ00; e grupo 3 (ambientes instáveis): BG01 e SA01.

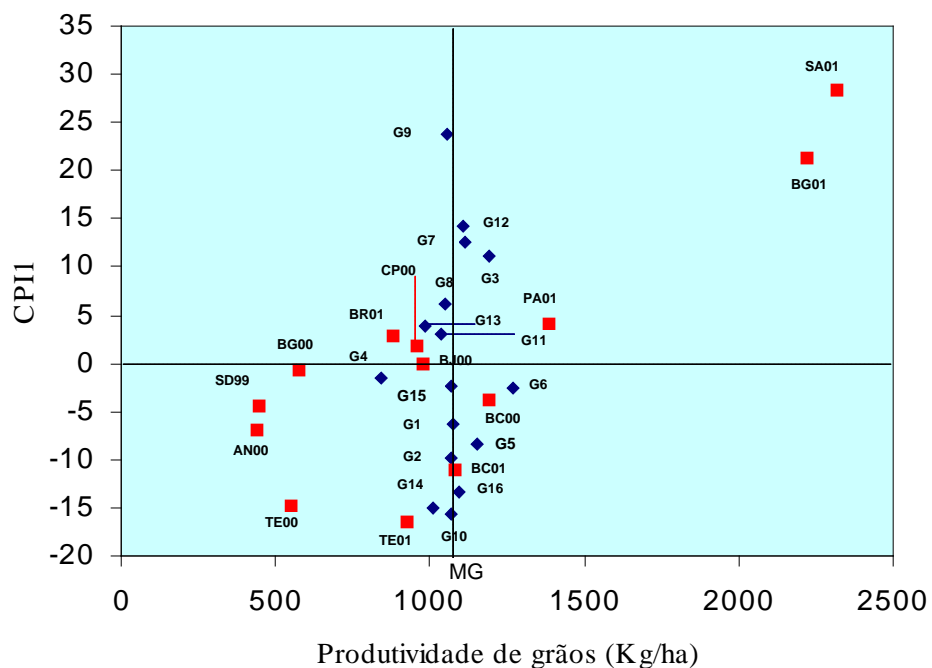


Figura 1. *Biplot* AMMI1: produtividade de grãos x primeiro componente principal da interação (CPI1) de 16 genótipos de feijão caupi semi-ereto de tegumento branco avaliados em 13 ambientes do Meio-Norte do Brasil. Genótipos e ambientes estão representados como losangos (azul) e quadrados (vermelho), respectivamente. MG: média geral.

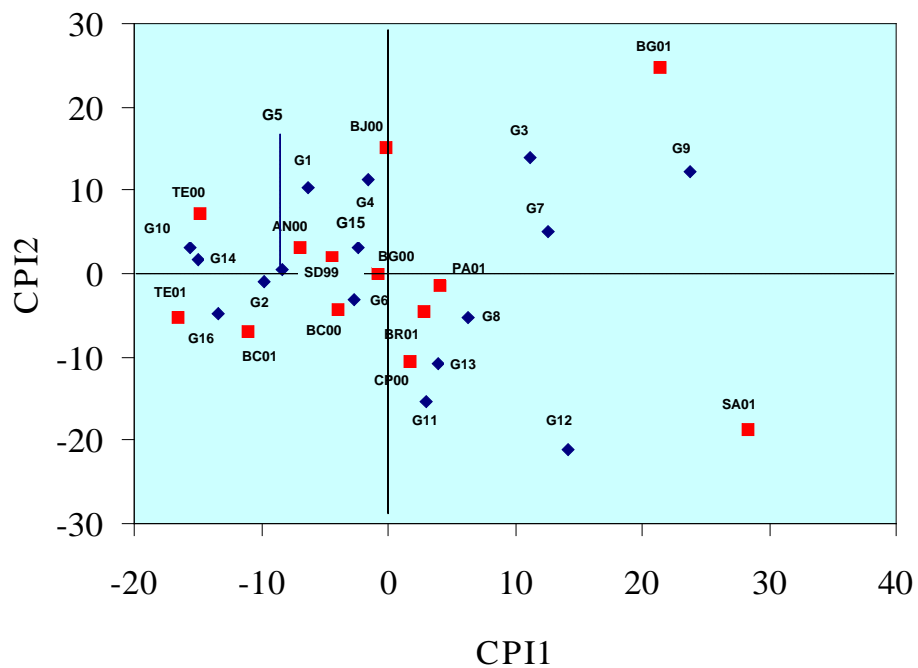


Figura 2. *Biplot* AMMI2: primeiro componente principal da interação (CPI1) x segundo componente principal da interação (CPI2) de 16 genótipos de feijão caupi semi-ereto de tegumento branco avaliados em 13 ambientes do Meio-Norte do Brasil. Genótipos e ambientes estão representados como losangos (azul) e quadrados (vermelho), respectivamente.

CONCLUSÕES

1. O efeito de ambientes é mais importante do que o efeito da interação genótipos x ambientes, e esta, mais importante do que o efeito de genótipos.
2. O genótipo TE96-282-22 reúne genes para adaptabilidade estabilidade e pode ser cultivado em todos os locais de avaliação; já os genótipos IT87D-195-1, CNCx1132-4E, TE97-411-3E, TE97-411-2E e T87D-1627 expressão melhor seus potenciais de produção em ambientes favoráveis.
3. Os ambientes Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2000; Brejo, MA, 2001; Palmeira do Piauí, PI, 2001 são os mais previsíveis; já os ambientes Sambaíba, MA, 2001 e Baixa Grande do Ribeiro, PI, 2001 são altamente favoráveis para a produtividade de grãos, mas imprevisíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise AMMI. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60p. (Série Monografias, 9)
- EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de linhagens de caupi de porte enramador. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 49, n. 284, p. 383-393, 2002.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; LOPES, A. C. 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.
- GABRIEL, K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.
- 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. 416p.
- ROCHA, M. M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. 2002. 174f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- 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.