

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA NO RIO GRANDE DO SUL¹

ARIONE DA SILVA PEREIRA² e DELORGE MOTA DA COSTA³

RESUMO - Este trabalho teve os objetivos de: comparar os valores da interação genótipo-ambiente (GA) obtidos com o uso do modelo dos efeitos principais aditivos e interação multiplicativa (AMMI) e na análise da regressão linear (RL); comparar a estabilidade de produção de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.). Dez genótipos foram avaliados em 34 ambientes (combinações de local, período de cultivo e ano) no Rio Grande do Sul, Brasil, em 1994 e 1995. A soma dos quadrados (SQ) das regressões explicou somente 19,5% da SQ da interação GA, ao passo que o primeiro componente (CPI) da análise dos componentes principais explicou 44,6%. A SQ do CPI foi maior que o dobro das SQ de todas as três regressões combinadas (conjunta, genotípica e ambiental). Portanto, a análise AMMI foi mais eficiente em descrever a interação GA que a RL. A cultivar Monte Bonito é instável, mas tem a produção mais elevada; 'Baronesa' é moderadamente estável e tem produção alta; 'Santo Amor' e 'Trapeira' são as mais estáveis, com produção acima da média; 'Macaca' e 'Cristal' são as mais instáveis, com produção abaixo da média; 'Atlantic' é instável e tem produção baixa.

Termos para indexação: *Solanum tuberosum*, interação genótipo-ambiente, modelo AMMI, regressão linear, análise de componentes principais.

STABILITY ANALYSIS OF YIELD OF POTATO GENOTYPES IN RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT - The objective of this work was to compare the amount of genotype-environment (GE) interaction described by using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model and the analysis of linear regression (LR), and to compare the yield stability of potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. Ten genotypes were evaluated in 34 environments (local, cultivation period and year combinations) in Rio Grande do Sul, Brazil, in 1994 and 1995. The sum of squares (SS) for the regressions accounted for only 19.5% of the interaction SS, whereas the first principal component (PC1) of the analysis of the principal components accounted for 44.6% of the interaction SS. The SS of PC1 was more than twice the combined SS of all three regressions (jointed, genotypic and environmental). Therefore, the AMMI analysis was more efficient in describing the GE interaction than the LR. The cultivar Monte Bonito is unstable, but has the highest yield; 'Baronesa' is moderately stable and has high yield; 'Santo Amor' and 'Trapeira' are the most stable, with yield above average; 'Macaca' and 'Cristal' are the most unstable, with yield below average; 'Atlantic' is unstable and has low yield.

Index terms: *Solanum tuberosum*, genotype-environment interaction, AMMI model, linear regression, principal component analysis.

¹ Aceito para publicação em 26 de novembro de 1997.

² Eng. Agr., Ph.D., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT), Caixa Postal 403, CEP 96001-970 Pelotas, RS. Bolsista do CNPq.

³ Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-CPACT.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de cultivares com produção alta e estável, elevada rusticidade e boa qualidade, é o principal objetivo do programa de melhoramento de batata da Embrapa-CPACT, Pelotas, RS. Os novos genótipos são avaliados no Ensaio Regional, em diversos ambientes (combinações de local, período de cultivo e ano), antes da seleção. A variação das condições ambientais faz com que a classificação dos genótipos seja diferente de um ambiente para outro, isto é, a interação genótipo-ambiente (GA) é significativa. Respostas diferenciadas dos genótipos à variação de ambientes dificultam a identificação dos genótipos desejados. A análise da regressão linear (RL) (Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russell,

1966) tem sido uma técnica bastante usada para avaliar a estabilidade dos genótipos. Outro procedimento estatístico proposto mais recentemente e bastante utilizado é o modelo dos efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI) (Zobel et al., 1988; Van Eeuwijk, 1995). Face à importância dos dois modelos, torna-se necessário compará-los, para determinar qual o mais adequado para selecionar genótipos de batata com produção alta e estável.

Este estudo objetivou: comparar os valores da interação genótipo-ambiente obtidos com o uso do modelo AMMI e da RL; comparar a estabilidade de produção de genótipos de batata, cultivados em diferentes ambientes, no Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Dez genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) foram testados para produção de tubérculos, em 34 ambientes (combinações de local, período de cultivo e ano), representando as diferentes condições de cultivo do Rio Grande do Sul, em 1994 e 1995. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela foi constituída de duas linhas de dez plantas cada, espaçadas em 0,30 m entre plantas e 0,80 m entre linhas. As práticas culturais foram as usuais em cada região. Os dados de produção total foram analisados pela análise de variância (ANOVA). A interação GA foi estimada com o uso de dois modelos: técnica da RL, que é a regressão da média da produção de cada genótipo sobre a média de todas as cultivares de cada ambiente (Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966); e modelo AMMI (Zobel et al., 1988). A parte aditiva do modelo AMMI é estimada pela ANOVA, e a porção multiplicativa é estimada pela análise dos componentes principais.

O modelo RL usado foi:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + b_i E_j + d_{ij} + e_{ij}$$

onde:

Y_{ij} é a produção média observada do genótipo i th no ambiente j th;

μ é a média geral;

G_i é o efeito do genótipo i ;

E_j é o efeito do ambiente j ;

b_i é o coeficiente de regressão linear do genótipo i th na média dos ambientes;

d_{ij} é o desvio da regressão;

e_{ij} é a média dos erros aleatórios associados com a parcela r th, que recebe o genótipo i th no ambiente j th.

O modelo AMMI usado foi:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + \sum_{n=1}^N \lambda_n \zeta_{in} \eta_{jn} + \Theta_{ij} + e_{ij}$$

onde:

λ_n é o autovalor do eixo componentes principais (CP) n ;

ζ_{in} e η_{jn} são os escores dos CP dos genótipos e ambientes para o eixo CP n ;

Θ_{ij} é o resíduo;

N é o número de eixos CP retidos pelo modelo.

Foi usado o software MATMODEL (versão 2.0) (Gauch, 1993) na análise dos dados de produção de tubérculos.

A eficiência das análises em estimar a interação GA foi medida pela proporção da variância explicada pelas mesmas. A interação GA foi ilustrada pelo uso de diagrama bidimensional de média do genótipo, na abscissa, e escore do primeiro componente principal (CP1), na ordenada.

As percentagens da soma dos quadrados da interação GA, explicadas pela análise da RL e pelo CP1 da análise AMMI, foram usadas para comparar a eficiência dos dois modelos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos de ambiente, genótipo e da interação genótipo-ambiente (GA) foram altamente significativos ($P < 0,01$), sugerindo uma ampla gama de variação genotípica e ambiental (Tabela 1). As somas dos quadrados (SQ) da interação e da diferença entre os genótipos e entre os ambientes explicaram 12,8%, 5,8% e 74,0% da variação total, respectivamente.

TABELA 1. Análise de variância da produção de tubérculos de 10 genótipos de batata, obtida em 34 ambientes, no Rio Grande do Sul.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados (SQ)	Quadrado médio	Porcentagem da SQ
Experimentos	339	161479,45	476,34	92,6
Ambientes	33	129033,30	3910,10**	74,0
Genótipos	9	10096,65	1121,85**	5,8
GA	297	22349,10	75,25**	12,8
Erro	256	12823,85	12,61**	7,4
Total	1017	174302,90	128,54	100,0

** P < 0,01.

A SQ da interação GA foi dividida com o uso da RL em regressão conjunta, genotípica e ambiental (Tabela 2). As SQ das três regressões explicaram 19,5% da SQ da interação GA, com 13,8% dos graus de liberdade da interação. O restante, 80,5%, foi explicado pela SQ do resíduo. A regressão conjunta, embora altamente significativa, explicou somente 3,5% da SQ da interação. Ao contrário, na divisão da SQ da interação GA pelo modelo AMMI, 44,6% da SQ, foram explicados pelo primeiro componente principal (CP1), com 13,8% dos graus de liberdade da interação GA (Tabela 3).

TABELA 2. Análise de variância, pela regressão linear, da produção de tubérculos de 10 genótipos de batata, obtida em 34 ambientes, no Rio Grande do Sul.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados (SQ)	Quadrado médio	Porcentagem da SQ
Ambientes	33	129033,30	3910,10**	
Genótipos	9	10096,65	1121,85**	
GA	297	22349,10	75,25**	100,0
Regressão conjunta	1	781,92	781,92**	3,5
Regressão genotípica	8	950,54	118,82**	4,3
Regressão ambiental	32	2610,93	81,59**	11,7
Resíduo	256	18000,70	70,32**	80,5
Erro	1017	12823,85	12,61	

** P < 0,01.

A investigação da interação GA possibilita a avaliação da estabilidade de produção de genótipos. O método de análise a ser usado no estudo depende da sua eficiência em explicar a variância da interação. Comparando-se as SQ dos componentes da interação GA calculadas com técnica da RL e com o modelo AMMI (Tabelas 2 e 3), observa-se que a SQ do CP1 foi maior que o dobro das SQ das três regressões combinadas (conjunta, genotípica e ambiental). Portanto, a análise AMMI foi mais eficiente em descrever a interação GA que a RL, em concordância com a generalização de Gauch (1993). O modelo AMMI representa as melhores co-variantes, teoricamente possíveis, para descreverem a interação (Baril et al., 1995).

Os resultados do presente estudo foram caracterizados pela grande variabilidade de produção e de escores de CP1 dos genótipos.

O diagrama bidimensional oferece a oportunidade de detectar a importância dos genótipos na contribuição à interação GA. A magnitude relativa dos escores do CP1, nos genótipos, identificou diferentes padrões de interação, portanto, de estabilidade de produção nos ambientes estudados. Assim, qualquer genótipo com escore do CP1 próximo a zero mostra estabilidade nos ambientes estudados; com escore alto, instabilidade. Um genótipo estável é desejável e de uso prático se apresentar uma produção média elevada.

O diagrama da média de produção e escores de CP1 dos dez genótipos estão apresentados na Fig. 1. O diagrama resume a informação sobre o efeito dos genótipos e suas interações com os 34 ambientes. Na

abscissa estão os efeitos dos genótipos, e na ordenada os efeitos da interação. Escores altos do CPI, positivos ou negativos, indicam grandes interações.

TABELA 3. Análise de variância, pelo modelo AMMI, da produção de tubérculos de 10 genótipos de batata, obtida em 34 ambientes, no Rio Grande do Sul.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados (SQ)	Quadrado médio	Porcentagem da SQ
Ambientes	33	129033,30	3910,10**	
Genótipos	9	10096,65	1121,85**	
GA	297	22349,10	75,25**	100,0
CPI	41	9961,45	242,96**	44,6
Resíduo	256	12387,65	48,39**	55,4
Erro	1017	12823,85	12,61	

** P < 0,01.1.

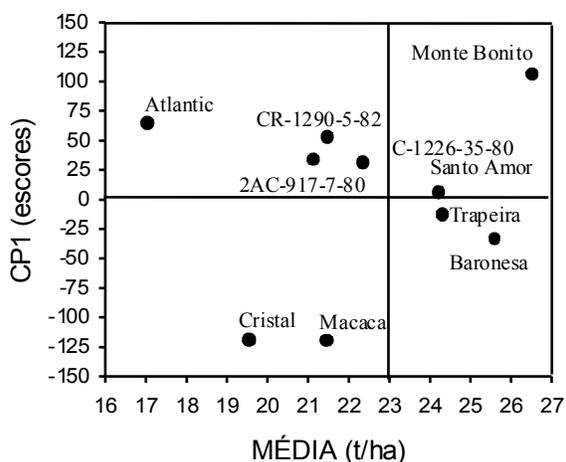


FIG. 1. Diagrama de produção de batata e escores do primeiro componente principal (CPI) de dez genótipos cultivados em 34 ambientes, no Rio Grande do Sul.

As cultivares Santo Amor e Trapeira tiveram escores do CPI mais próximos a zero entre todas as cultivares estudadas, significando que suas interações com o ambiente foram as menores, isto é, mais estáveis que as outras cultivares. As produções dessas cultivares foram semelhantes entre si e superiores à média geral. Por sua vez, a cultivar Macaca e clone CR-1290-5-82 diferiram em interação (escores de CPI), mas não em média de produção, enquanto os clones C-1226-35-80 e 2AC-917-7-80 assemelharam-se em interação e diferiram em produção. As cultivares Monte Bonito, Macaca e Cristal apresentaram escores altos do CPI, isto é, forte interação com os ambientes estudados. A cultivar Monte Bonito foi a mais produtiva. A cultivar Baronesa apresentou efeito da interação pequeno e produção alta, representando a melhor combinação de estabilidade e produtividade; portanto, seria a melhor escolha. Há anos, essa cultivar tem sido a mais plantada no Rio Grande do Sul (mais de 80% da área). A produção elevada e estável desse genótipo foi também detectada por Filgueira et al. (1995), em estudos realizados em solo de cerrado com adubação. A cultivar Atlantic apresentou interação intermediária e produção mais baixa entre as cultivares estudadas.

CONCLUSÕES

1. O modelo AMMI é mais eficiente em descrever a interação genótipo-ambiente de genótipos de batata avaliados em diferentes ambientes que a análise por RL.

2. A cultivar Monte Bonito é instável, mas tem a produção mais elevada; Baronesa é moderadamente estável e tem produção alta; Santo Amor e Trapeira são as mais estáveis, com produção acima da média; Macaca e Cristal são as mais instáveis, com produção abaixo da média; Atlantic é instável e tem produção baixa.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de apoio do programa de melhoramento de batata da Embrapa-CPACT, pela ajuda nos trabalhos de campo e armazém, e aos colaboradores das diferentes localidades do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- BARIL, C.P.; DENIS, J.B.; WUSTMAN, R.; VAN EEUWIJK, F.A. Analysing genotype by environment interaction in Dutch potato variety trials using factorial regression. **Euphytica**, v.82, p.149-155, 1995.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.
- FILGUEIRA, F.A.R.; BANZATTO, D.A.; CHURATA-MASCA, M.G.C.; CASTELLANE, P.D. Interação genótipo x ambiente em batata. **Horticultura Brasileira**, v.13, p.134-141, 1995.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, p.742-754, 1963.
- GAUCH, H.G. **MATMODEL Version 2.0**: AMMI and related analysis for two-way data matrices. Ithaca, New York: Microcomputer Power, 1993. 59p.
- VAN EEUWIJK, F.A. Linear and bilinear models for the analysis of multi-environment trials: I. An inventory of models. **Euphytica**, v.84, p.1-7, 1995.
- ZOBEL, R.W.; WRIGHT, A.J.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, p.388-393, 1988.