

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ANÁLISE ESPACIAL DE EXPERIMENTOS DE CAMPO¹

LÚCIO JOSÉ VIVALDI²

RESUMO - Foi desenvolvido um estudo sobre alguns métodos de análise espacial de experimentos de campo, em que o número de tratamentos (linhagens) é elevado. Os métodos selecionados para o estudo foram o de Papadakis, o de médias móveis e o de blocos móveis. A comparação entre os três métodos baseou-se na análise de experimento uniforme simulado, com parâmetros conhecidos; foram estabelecidas tendências lineares e cíclicas aos dados do experimento e 600 configurações foram analisadas pelos três métodos e pelo usual. Através dos valores médios de algumas estatísticas relevantes, foi avaliado o desempenho dos métodos com respeito à diminuição do erro experimental e à diferença entre tratamentos. Os resultados mostraram que o método de Papadakis foi o mais eficiente na redução do erro experimental, na presença de tendência linear forte; em outras situações, o método de Papadakis apresentou, no mínimo, uma eficiência semelhante à dos demais métodos. Na presença de tendências lineares fraca e cíclica, os métodos de médias móveis e blocos móveis produziram estimativas do erro experimental muito abaixo do erro real.

Termos para indexação: método de Papadakis, médias móveis, blocos móveis.

COMPARISON BETWEEN METHODS OF SPATIAL ANALYSIS OF FIELD EXPERIMENTS

ABSTRACT - A study on three methods of spatial analysis of field experiments, was carried out with a very high number of varieties. The methods were: Papadakis method, moving average, and moving blocks. Comparison among the methods used data from a simulated uniform trial with known parameters; linear and cyclic trends were imposed to the data and a set of 600 different experiments was analysed by all methods, including the usual analysis of variance. Through the average values of some relevant statistics the behavior of the methods was compared. The results indicated the Papadakis method as the most efficient in the reduction of experimental error in the presence of cyclic and strong linear trends. In other situations the Papadakis method showed at least an efficiency similar to the other methods. In the presence of cyclic and weak linear trends the moving average and moving blocks methods yielded very low estimates of the experimental error.

Index terms: Papadakis method, moving average method, moving blocks method.

INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos tem havido um crescente interesse no estudo de novos métodos de análise de experimentos de campo, principalmente após os importantes trabalhos de Bartlett (1978) e Wilkinson et al. (1983). Os métodos clássicos de análise de experimentos (e de planejamento) têm sido usados com sucesso por muitas décadas, e para muitas situações experimentais permanecem imbatíveis. No entanto,

em alguns contextos, eles podem não produzir a eficiência esperada, como será mostrado a seguir. Considere-se um experimento em blocos ao acaso num local onde, apesar dos cuidados observados pelo experimentador, houve no passado formação especial no solo provocada por cupins (muito comum em algumas regiões do Brasil) e detectada durante a vida útil do experimento. Este evento pode influenciar o desempenho de uma ou mais parcelas (tratamentos), aumentando o erro experimental.

Outra situação, diferente da primeira, é o caso de experimentos de campo com patógenos que migram com facilidade de uma parcela para outra, afetando a influência dos tratamentos (podendo até haver re-

¹ Aceito para publicação em 28 de junho de 1989.

² Estatíst., Ph.D., EMBRAPA/Dep. Téc. Cient.-DTC, Setor de Áreas Isoladas Norte, CEP 70770, Brasília, DF.

versão dos efeitos), contribuindo também para o aumento do erro.

Na área de melhoramento de plantas, são comuns, em certas fases de um projeto de pesquisa, experimentos com um número elevado de tratamentos (linhagens) e a escassez de material básico, mão-de-obra e espaço físico, tornando inviável a utilização de delineamentos ótimos, optando-se, na maioria das vezes, por blocos ao acaso, com um grande número de pequenas parcelas e poucas repetições. Naturalmente, o conceito de homogeneidade dentro do bloco fica prejudicado, assim como o de independência entre parcelas.

Em todos os três casos, o modelo de análise de variância simples pode não corresponder à realidade, e os seus resultados não serão satisfatórios.

No primeiro exemplo, um estudo do local do ensaio evitaria a instalação do experimento num terreno impróprio. No segundo caso, poder-se-ia optar por um delineamento sistemático, como os propostos por Dyke & Shelley (1976), implicando numa análise fora dos padrões usuais. No entanto, no terceiro caso, as circunstâncias do experimento deixam pouco espaço para modificações e há necessidade de se viabilizar uma análise que possa fornecer resultados confiáveis.

O princípio de vizinhança na análise de experimentos aleatorizados (no sentido de Fisher) foi utilizado no trabalho de Papadakis (1937), que recomendou uma análise de covariância conveniente. Bartlett (1938, 1978) foi um estudioso do método de Papadakis, assim como Pearce (1978, 1980) e Wilkinson et al. (1983) propuseram um novo modelo de experimento baseado no princípio de vizinhança, de forma a utilizar a informação das parcelas vizinhas na análise do experimento; os delineamentos propostos e adaptados ao modelo eram sistemáticos ou semi-sistemáticos, e exigem um balanceamento com relação aos vizinhos. Outros modelos menos conhecidos mas derivados dos anteriores podem ser encontrados em Kempton (1984).

Neste trabalho, serão discutidos alguns métodos de análise de experimentos não sistemáticos, que podem proporcionar resultados satisfatórios em determinadas situações, como visto anteriormente.

O método de Papadakis, médias móveis e blocos móveis será comparado via simulação, uma vez que são os mais simples e se resumem em uma análise de covariância-técnica bastante conhecida pelos experimentadores. No apêndice serão dadas algumas formulações matemáticas dos três métodos.

DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

As características dos métodos de análise de experimentos refletem, de forma geral, o estágio dos meios computacionais disponíveis na época e o avanço do estudo dos delineamentos e modelos lineares, buscando sempre estimadores dos efeitos de tratamentos livres dos efeitos ambientais sistemáticos, e diminuição do erro experimental, com conseqüente aumento da precisão das comparações entre tratamentos. Assim, a seguir, serão descritos alguns destes métodos.

Método de Papadakis (PP)

A preocupação com a heterogeneidade do solo na experimentação de campo e sua influência na estimativa das diferenças entre tratamentos não só levou à idealização de blocos, mas também à proposição de novas abordagens na experimentação e na análise de experimentos. Desta forma, Papadakis (1937) recomendou o uso da correlação entre parcelas vizinhas como uma alternativa aos blocos. O método, conhecido como método de Papadakis, consiste em corrigir a produção de cada parcela (variável resposta) pelo efeito médio (no experimento) do tratamento aplicado à parcela, e então, a média dos valores corrigidos das parcelas vizinhas é considerada como uma covariável e segue-se uma análise de covariância. Por exemplo, se o delineamento fosse o inteiramente ao acaso, o modelo matemático seria $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$; para um tratamento k , o efeito estimado (t_k) é dado por $(\bar{y}_k - \bar{y})$ (média aritmética das parcelas que receberam o tratamento k menos a média geral do experimento). Desta forma, o valor de cada parcela (i, j) é corrigido com relação ao tratamento que ela recebeu ($y_{ij} - t_j$); para uma parcela específica (a, b), estes valores, corrigidos correspondentes às parcelas vizinhas, são somados e a média obtida é o valor da covariável Z associada à parcela (a, b). Assim, o modelo de análise passa a ser $y_{ab} = \mu + t_a + \alpha_{ab} + e_{ab}$, onde α é o coeficiente de regressão. O efeito procurado é o de eliminar grande parte das tendências existentes no solo através do desempenho das parcelas vizinhas, com uma conseqüente diminuição do erro experimental.

O método de Papadakis tem sido estudado com freqüência desde os anos setenta. As vantagens de sua aplicação foram observadas por Pearce (1978), Pearce & Moore (1976) e Kempton (1982), enquanto pesquisas teóricas foram conduzidas principalmente por Atkinson (1969), Bartlett (1938, 1978), Wilkin-

son et al. (1983) e Wilkinson (1984). Bartlett (1938, 1978) mostrou em seus trabalhos que o método é aproximado, mas quando o número de parcelas por bloco é grande ele tende a produzir resultados satisfatórios. Bartlett (1978) propôs ainda o uso iterativo do método, que consiste em repetir o processo descrito anteriormente até que a estimativa do coeficiente de regressão α atinja um valor estável. Wilkinson et al. (1983) criticaram este procedimento, e com estudos de simulação evidenciaram certas tendências ocasionadas pela iteração. Não há uniformidade de idéias quanto à eficiência do método de Papadakis, mas as comparações deixam-no numa posição de igualdade com relação a outros métodos, como pode ser constatado em Kempton (1984).

Método das médias móveis (MM)

O uso de médias móveis, na análise de experimentos de campo, com um grande número de tratamentos, parece ter sido introduzido através do trabalho de Townley-Smith & Hurd (1973), e consiste no seguinte: o experimento é implantado em blocos de grande comprimento (número elevado de parcelas) e o valor de cada parcela é corrigido pela média dos valores das parcelas vizinhas (não pelo efeito de tratamento como no método de Papadakis); assim, como no exemplo descrito no método Papadakis, se na parcela (a, b) foi observado o valor y_{ab} , cria-se outro valor:

$$z_{ab} = y_{ab} - \frac{1}{2}(y_{eb} + y_{db}),$$
 onde y_{eb} e y_{db} são valores observados à esquerda e à direita da parcela (a, b), respectivamente. Desta forma, z_{ab} é o valor de uma co-variável Z associada à parcela (a, b), e o modelo de análise passa a ser semelhante ao anterior. Este procedimento pode ser estendido ao se considerar "q" parcelas à direita e à esquerda da parcela (a, b), respectivamente. Uma dificuldade encontrada neste método é a determinação do número "q" de parcelas vizinhas. Este número é aquele até onde o processo de filtragem se mostra eficiente, e isto pode variar de local para local, mesmo dentro de um experimento. Outro ponto questionável (relacionado ao anterior) é quanto aos pesos dados às parcelas vizinhas no processo de filtragem (criação da co-variável); comumente, pesos iguais são definidos sem se levar em conta a distância entre as parcelas. O método das médias móveis foi estudado por Mak et al. (1978) e por Rosielle (1980), com a finalidade de compará-lo ao método das parcelas de verificação (Love 1938) e a delineamentos mais sofisticados como os "látices".

Método dos blocos móveis (BM)

Na análise usual de experimentos em blocos (completos e incompletos), todas as parcelas do mesmo bloco são corrigidas pelo efeito estimado do bloco (um mesmo efeito para todas as parcelas). Wilkinson et al. (1983) estabeleceram um novo modelo de experimento de campo, o qual foi denominado "moving blocks" (blocos móveis), onde cada parcela é corrigida pela média das duas parcelas vizinhas (efeito semelhante ao de bloco baseado em um bloco de tamanho 2) e assim o bloco caminha ou se move até o fim do experimento. O método de análise e eficiência do modelo, no entanto, está associado a um balanceamento com relação aos vizinhos, exigindo, desta forma, um delineamento sistemático ou semi-sistemático (o procedimento é semelhante ao de médias móveis com um vizinho de cada lado). Thompson (1984), no seu trabalho sobre o uso de múltiplas cópias dos dados na análise de experimentos, utilizou a prática de criar blocos de tamanhos diferentes como uma forma de facilitar a interpretação da análise de variância. Neste trabalho, o método dos blocos móveis consiste em associar um bloco de tamanho $(2t + 1)$ para cada parcela (i, j) do experimento, sendo t à esquerda e t à direita, o que leva à estimação de um efeito de bloco para cada parcela. Assim, a parcela (i, j) corrigida pelo efeito de bloco constitui o valor de uma co-variável Z associada à parcela (i, j), utilizada na eliminação da heterogeneidade do solo. Este método se assemelha ao anterior, mas, conceitualmente, está mais próximo daquilo que se espera de uma análise de um delineamento em blocos.

Um outro método, ainda baseado na análise de co-variância, é o chamado método das parcelas de verificação ("check plots"). Método antigo, já estudado por Wiancko et al. (1921), e que suscitou muita controvérsia (Love 1938). Consiste em se dispor um conjunto de parcelas, sistematicamente, sobre o experimento (geralmente em blocos), e ocupá-las com um tratamento padrão e estável, com a finalidade de servir de comparação com os outros tratamentos do experimento.

Mais recentemente, os valores observados nas parcelas de verificação têm sido utilizados na criação de co-variáveis, úteis na análise de experimentos com elevado número de tratamentos (Le Clerg 1966). No entanto, o número de parcelas de verificação, a distância entre elas e como criar a co-variável constituem objeto de discussão; além disso, para experimentos regulares, com um número adequado de tratamentos, os delineamentos em blocos incomple-

tos, principalmente os látices, mostraram-se superiores aos que utilizaram parcelas de verificação (Yates 1936).

Um estudo abrangente sobre este método pode ser encontrado no livro de Love (1938), capítulo XV. O uso de parcelas de verificação tem sido raro, mas em situações especiais ainda pode ser cogitado. Este método pode ser considerado como o primeiro método de análise espacial de experimentos.

Na década de 80, outra linha de análise de experimentos surgiu com os trabalhos de Patterson & Hunter (1983) e Williams (1986). Ambos chamam a atenção para os pesos dados às parcelas vizinhas, ou seja, eles são os mesmos, independentemente da distância entre elas. Como uma solução, estes autores propuseram uma modificação na estrutura da matriz de variâncias e co-variâncias, que leva em conta a distância entre as parcelas dentro de um bloco. No primeiro trabalho, os autores preconizaram o modelo exponencial de variância, e Williams (1986) propôs um modelo denominado variância linear mais blocos incompletos. Apesar de serem métodos espaciais de análise, são mais apropriados para experimentos onde o número de tratamentos não é elevado.

GERAÇÃO DOS DADOS

Um estudo clássico de comparação entre métodos seria o baseado em formulações matemáticas e estatísticas, através das quais poder-se-ia chegar a conclusões definitivas sobre o desempenho dos métodos, independentemente dos resultados observáveis em um experimento. No entanto, a complexidade de muitos métodos ou o pouco conhecimento sobre eles tornam inviável tal procedimento. Os computadores de alta velocidade de cálculo e a aplicação de alguns teoremas (Mihram 1972), associados a determinadas estratégias, permitem obter evidências sobre o comportamento dos métodos, possibilitando a formulação de algumas conclusões.

Na comparação de métodos de análise de experimentos é comum a utilização dos ensaios de uniformidade, ou também chamados ensaios em branco (Wilkinson et al. 1983). Ocorre que, sob o ponto de vista estatístico, no que se refere aos objetivos da comparação, os dados podem ser gerados ou pela natureza ou por um gerador artificial (vale notar que em ambos os casos temos um conjunto de variáveis aleatórias).

Desta forma, partiu-se de um experimento uniforme com três blocos completos e 30 tratamentos com efeito nulo (estes parâmetros foram baseados

nos estudos de Bartlett 1938, 1978). O valor de cada parcela foi gerado pela função RANNOR do Statistical Analysis System Institute (1985), com distribuição aproximadamente normal, com média 1.000 e variância 10.000; considerou-se também que os valores das parcelas são independentes. Os aspectos relacionados com tamanho e forma de parcelas foram ignorados, muito embora eles possam influir na eficiência dos métodos. O valor de cada parcela foi considerado fixo para todas as análises.

A estratégia de comparação entre os três métodos consiste em criar tendências artificiais dentro de cada bloco, selecionar aleatoriamente um subconjunto de 600 configurações do experimento do universo das possíveis configurações, analisá-las pelos quatro métodos e, finalmente, selecionar os valores médios de algumas estatísticas relevantes. Na seleção das configurações foi utilizado o algoritmo implementado por Page (1967). Dois tipos de tendências foram criadas: 1) tipo linear em três níveis – fraco, médio e forte, e 2) tipo cíclico. A tendência linear foi gerada dentro do bloco da forma $y = a + bx$, onde x é o número da parcela, $a = 0$ e $b = 5, 15$ e 30 para os níveis fraco, médio e forte, respectivamente. A tendência cíclica foi da forma $y = 30 \cos(x/3)$. Nos casos das médias móveis e blocos móveis, foram conduzidas análises correspondentes às distâncias de um até cinco, ou seja, o número de parcelas considerado à direita e à esquerda variou de um a cinco em ambos os métodos. Assim, para cada uma das 600 configurações foram efetuadas 48 análises.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As análises dos dados geraram um grande número de resultados, e somente os mais significativos serão discutidos; as estatísticas escolhidas e que podem caracterizar o comportamento dos métodos foram: quadrado médio do erro (QME), quadrado médio de tratamento (QMT), valor F (QMT/QME), e o coeficiente de regressão (REG). Outras duas também foram cogitadas: as razões entre o quadrado médio de tratamento e o quadrado médio do erro (FTN), quando o modelo é nulo; e entre o quadrado médio do erro e o quadrado médio do erro, quando o modelo é nulo (FEN). Entende-se por "modelo nulo" aquele em que os efeitos de tratamentos foram ignorados no modelo, o que é diferente do caso em questão, onde os efeitos de tratamentos foram considerados no modelo mas são nulos pela definição de experimento uniforme. Se determinado método de análise apresenta bons resultados, espera-se que es-

tas duas últimas estatísticas fiquem em torno de 1, desde que na análise usual, QME, QMT e o quadrado médio do erro, quando o modelo é nulo, são estimadores do mesmo parâmetro: a variância que, no caso em questão, é 10.000.

Na Tabela 1 são mostrados os valores médios das estatísticas anteriormente definidas (com exceção do QMT) em várias situações do estudo; com respeito aos métodos das médias móveis (MM) e dos blocos móveis (BM), os valores correspondem aos resultados obtidos quando o número de médias foi 5 e o tamanho do bloco móvel foi 2. Os comentários desta secção são baseados no conteúdo da Tabela 1. Como os dados gerados têm variância de, aproximadamen-

te, 10.000, através do QME observa-se que o método de Papadakis foi superior aos outros dois competidores, em quase todas as situações. Na presença de tendência linear forte, PP apresentou QME em torno de 37% do obtido pelo método usual (US), 48% do MM e 52% do BM, o que implica um ganho substancial. Na ausência de tendência e na presença de tendências lineares fraca e cíclica, o método de Papadakis comportou-se bem, mas os métodos MM e BM subestimaram o erro experimental em níveis não toleráveis, chegando, em um dos casos, a ficar em torno de 5,81% da variância real (ausência de tendência no BM). Na presença de tendência linear média, o comportamento dos métodos quanto ao QME foi

TABELA 1. Estatísticas QME, FTN, FEN, F e REG obtidas nos quatro métodos estudados para diferentes tendências dos dados. (Valores médios de 600 análises).

Tendência	Estatística	US (*)	PP	MM	BM
Ausente	QME	9.020	8.900	680	581
	QMTN	1,005	0,996	1,009	1,006
	QMEN	0,998	1,002	0,995	0,997
	F	1,044	1,029	1,046	1,041
	REG	-----	-0,235	0,892	1,009
Linear Fraca	QME	11.059	11.349	2,464	2,180
	QMTN	0,997	0,985	0,992	1,007
	QMEN	1,002	1,008	1,004	0,996
	F	1,032	1,015	1,018	1,042
	REG	-----	0,029	0,901	1,030
Linear Média	QME	26.714	18.436	16.343	15.041
	QMTN	0,996	0,984	1,002	0,994
	QMEN	1,002	1,008	0,999	1,003
	F	1,034	1,008	1,041	1,024
	REG	-----	0,599	0,981	1,177
Linear Forte	QME	79.265	29.792	61.731	56.167
	QMTN	0,997	0,991	1,013	0,997
	QMEN	1,001	1,005	0,993	1,001
	F	1,036	1,023	1,059	1,034
	REG	-----	0,797	1,234	1,601
Cíclica	QME	9,548	9,667	808	743
	QMTN	1,007	0,997	1,004	1,008
	QMEN	0,996	1,002	0,998	0,997
	F	1,046	1,031	1,041	1,045
	REG	-----	-0,137	0,886	1,027

(*) Método usual.

semelhante, com um afastamento regular da variância conhecida.

Na análise das estatísticas FTN e FEN, observa-se que seus valores médios não diferem significativamente de 1,0 (não no sentido de um teste estatístico) em todos os métodos; este resultado contrasta com o obtido por Wilkinson et al. (1983), onde estes valores foram significativamente maiores que 1,0 para o método de Papadakis. Na análise de estatística F, deve-se lembrar que a esperança matemática de F está em torno de 1,036 (graus de liberdade do erro (58) dividido pelo grau de liberdade do erro menos 2 (56)). Observa-se, também, aqui, que os três métodos comportaram-se semelhantemente; com relação ao método de Papadakis, os estudos de Wilkinson et al. (1983) produziram valores de F significativamente abaixo do esperado. O comportamento dos três métodos com relação ao FTN, FEN e F evidenciam que eles mantiveram a uniformidade dos efeitos de tratamentos (nulos no caso em questão), apesar das mudanças nos valores esperados do QMT e QME. Os coeficientes de regressão (REG) próximos de 1 evidenciaram que os métodos de médias móveis e blocos móveis provocaram ajustamentos indevidos na ausência de tendência e na presença de tendência cíclica, e aquém do desejável na presença de tendência linear forte.

O comportamento dos valores médios das estatísticas nos diferentes métodos evidenciam que o método de Papadakis apresenta certo grau de robustez (não é ruim em situações extremas), enquanto os dois competidores podem apresentar alguns resultados bons e outros inaceitáveis; por outro lado, a eficiência dos métodos MM e BM pode depender do número de médias envolvidas e do tamanho dos blocos, respectivamente, constituindo outro problema para o experimentador. Embora os demais resultados para os métodos MM e BM não apareçam na Tabela 1, a sua discussão acrescentaria pouco no ganho de conhecimento sobre os processos estudados.

Como ponto final, pode-se afirmar que, nas condições estudadas, o método de Papadakis apresentou considerável poder na diminuição do erro experimental, o que concorda com os resultados obtidos por Pearce (1978) e conflita, em parte, com os achados por Wilkinson et al. (1983), ambos numa situação em que a natureza das tendências era desconhecida. Acrescente-se o fato de que o método de Papadakis pode ser aplicado em qualquer disposição espacial, e qualquer número de tratamentos. Os métodos de médias móveis e blocos móveis ainda necessitam de estudos suplementares, através da modificação

dos pesos dados às parcelas ou pela obtenção do número ótimo de parcelas envolvidas na criação das co-variáveis.

REFERÊNCIAS

- ATKINSON, A.C. The use of residuals as a concomitant variable. *Biometrika*, **56**:33-41, 1969.
- BARTLETT, M.S. The approximate recovery of information from replicated field experiments with large blocks. *J. Agric. Sci.*, **28**:418-27, 1938. BARTLETT, M.S. Nearest neighbour models in the analysis of field experiments. *J.R. Statist. Soc. B.*, **40**:140-74, 1978.
- DYKE, G.V. & SHELLEY, C.F. Serial designs balanced for effects of neighbours on both sides. *J. Agric. Sci.*, **87**:303-5, 1976.
- KEMPTON, R.A. Adjustment for competition between variates in plant breeding trials. *J. Agric. Sci.*, **98**:599-611, 1982.
- KEMPTON, R.A. *Spatial Methods in Field Experiments*. England, University of Durham, 1984.
- LE CLERG, E.L. Significance of experimental design in plant breeding. In: Frey, K.J. ed., *Plant breeding*. Ames, Iowa State Univ. Press, 1966, 243-313.
- LOVE, H.H. *Application of statistical methods to agricultural research*. China, The Commercial Press, Limited Ghangsha, 1938.
- MAK, C.; HARVEY, B.L.; BERDAHL, J.D. An evaluation of control plots and moving means for error control in barley nurseries. *Crop. Sci.*, **18**:870-973, 1978.
- MIHRAM, G.A. *Simulation of statistical foundations and Methodology*. New York, Academic Press, 1972.
- PAGE, E.S. A note on generating random permutations. *Appl. Stat.*, **16**:273-74, 1967.
- PAPADAKIS, J.S. Méthode Statistique pour des expériences sur champ. *Bull. Inst. Amel. Plantes à Salonique*, **23**, 1937.
- PATTERSON, H.D. & HUNTER, E.A. The efficiency of incomplete block designs in national List and Recommended List cereal variety trials. *J. Agric. Sci.*, **101**:427-33, 1983.

PEARCE, S.C. The control of environmental variation in some West Indian maize experiments. **Trop. Agric.**, Trinidad, 55(2):97-106, 1978.

PEARCE, S.C. Randomized blocks and some alternatives: A study in tropical conditions. **Trop. Agric.**, Trinidad, 57:1-10, 1980.

PEARCE, S.C. & MOORE, C.S. Reduction of experimental error in perennial crops, using adjustment by neighbouring plots. **Expl. Agric.**, 12:267-72, 1976.

ROSIELLE, A.A. Comparison of lattice designs, check plots, and moving means in wheat breading trials. **Euphytica**, 29:129-33, 1980.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, Cary, EUA. **User's guide: basics**. Cary, 1985.

THOMPSON, R. The use of multiple copies of data in forming and interpreting analysis of variance. In: HINKEMAN, K. ed. **Experimental design, statistical models, and genetic statistics**. Virginia Polytechnic Institute and State University Blacks burg, 1984.

TOWNLEY-SMITH, T.F. & HURD, W.A. Use of moving means in wheat yields trials. **Can J. Plant. Sci.**, 53:447-50, 1973.

WIANCKO, A.T.; ARNY, A.C.; SALMON, S.C. Report of committee on standardization of field experiments. **J. Am. Soc. Agron.**, 13:368-74, 1921.

WILKINSON, G.N. Nearest neighbour methodology from designs and analysis of field experiments. In: INTERNATIONAL BIOMETRICS CONFERENCE, 12, Washington, 1984. **Proceedings**. . . Washington, D.C., Biometric society, 1984. p.69-79.

WILKINSON, G.N.; ECHERT, S.R.; HOANCOCK, T.W.; MAYO, O. Nearest neighbour (NN) analysis of field experiments (with discussion). **J.R. Statist. Soc. B.**, 40:151,211, 1983.

WILLIAMS, E.R. A neighbour model for field experiments. **Biometrika**, 73(2):279-87, 1986.

YATES, F. A new method of arranging variety trials involving large numbers of varieties. **J. Agric., Sci.**, 24:424-55, 1936.

APÊNDICE

Considere um experimento representado pelo modelo linear

$$\underline{Y} = \underline{X} \underline{\beta} + \underline{D} \underline{\theta} + \underline{\epsilon} \quad (1)$$

onde \underline{Y} ($n \times 1$) é o vetor de respostas, \underline{X} ($n \times k$) é uma matriz de constantes, $\underline{\beta}$ ($k \times 1$) é um vetor de parâmetros (possivelmente efeitos de blocos, linhas, etc.), \underline{D} ($n \times t$) é uma matriz de constantes, $\underline{\theta}$ ($t \times 1$) é um vetor de parâmetros (tratamentos) e $\underline{\epsilon}$ ($n \times 1$) é um vetor de erros não observáveis, independentes, com média zero e variância σ^2 , com distribuição aproximadamente normal.

Seja $\hat{\theta}$ o estimador de quadrados mínimos de $\underline{\theta}$ no modelo (1). O estimador de Papadakis de $\underline{\theta}$, $\hat{\theta}_p$, é o estimador de quadrados mínimos de $\underline{\theta}$ no modelo

$$\underline{Y} = \underline{X} \underline{\beta} + \underline{D} \underline{\theta} + \alpha \underline{N} (\underline{Y} - \underline{D} \hat{\theta}) + \underline{\epsilon} \quad (2)$$

onde α é o coeficiente de regressão de \underline{N} ($n \times n$) é uma matriz de vizinhanças cujos elementos discriminam quais são as parcelas vizinhas de uma determinada parcela do experimento, que varia de acordo com o delineamento. O método de Papadakis consiste em analisar o experimento segundo o modelo (2), que representa um modelo de análise de co-variância. O método iterativo de Papadakis consiste em obter $\hat{\theta}_p$, fazer $\hat{\theta} = \hat{\theta}_p$ em (2) e repetir a análise. Este processo continua até que o valor de α se estabilize.

O método das médias móveis pode ser colocado no seguinte contexto: Considere um bloco com comprimento p (p parcelas). Sejam $y_1, y_2, \dots, y_r, \dots, y_j, \dots, y_s, \dots, y_p$ os valores observados nas parcelas $1, 2, \dots, r, \dots, i, \dots, s, \dots, p$. Seja

$$z_i = y_i - \sum_{\substack{j=r \\ j \neq i}}^s a_j y_j \quad \sum a_j = 1 \quad (3)$$

O método das médias móveis consiste em analisar o modelo

$$\underline{Y} = \underline{X} \underline{\beta} + \underline{D} \underline{\theta} + \alpha \underline{Z} + \underline{\epsilon} \quad (4)$$

onde α é o coeficiente de regressão, e \underline{Z} ($n \times 1$) é o vetor dos z_i 's. Os a_j 's são os pesos agregados às parcelas e $(i - r)$ é o número de parcelas à esquerda da parcela i , e $(s - i)$ à direita.

No caso do método dos blocos móveis, o processo de ajuste é semelhante ao anterior, e a diferença está em que em (3)

$$z_i = y_i - \sum_{j=r}^s a_j y_j \quad \sum_j a_j = 1 \quad (5)$$

O tamanho do bloco é dado por $(s - r + 1)$ e ele é simétrico em relação à parcela i . A parte envolvendo o somatório 1 (5) representa o efeito de bloco para a parcela i . O modelo de análise de co-variância seria semelhante ao modelo visto em (4).