

DelPapa - Aplicativo computacional para a análise de dados de experimentos no delineamento blocos ao acaso, usando o método Papadakis

DelPapa - Software tools for analyzing data for experiments in randomized block design using the Papadakis method

Lindolfo Storck^{1,*},^{II} Tiago Lazarotto¹ Fábio Favarim¹ Alberto Cargnelutti Filho^{II}

- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -

RESUMO

O aplicativo computacional para a análise de dados de experimentos executados no delineamento blocos ao acaso, por meio do método usual e de Papadakis, foi desenvolvido em sua primeira versão (não publicada), na linguagem de programação Pascal. Considerando que o método de Papadakis foi eficiente para as principais culturas agrícolas (milho, soja, feijão e trigo) e, para tornar o aplicativo mais amigável, a versão em Pascal foi reprogramada em Java, cuja denominação é DelPapa. Este aplicativo <<https://sourceforge.net/projects/delpapa/files/?source=navbar>> realiza a análise de variância segundo o delineamento blocos ao acaso pelo método usual (estima parâmetros genéticos, medidas de qualidade experimental e testes dos pressupostos da análise de variância) e pelo método de Papadakis. Usando as médias ajustadas pela covariável (média dos erros das parcelas vizinhas), também realiza o teste Scott e Knott ($P=0,05$) para agrupar os tratamentos.

Palavras-chave: *precisão experimental, variação espacial, medidas de precisão, análise de variância.*

ABSTRACT

The software tool for data analysis from experiments performed in a randomized block design, by the usual manner and by the Papadakis method, was developed in its first version (unpublished), in the Pascal programming language. Whereas the Papadakis method was efficient for the major crops (corn, soybeans, beans and wheat) and because of its friendly software tools, the Pascal version was reprogrammed in Java, whose name is DelPapa. This software tools <<https://sourceforge.net/projects/delpapa/files/?source=navbar>> makes the analysis of variance according to a randomized block design by usual manner (estimate the genetic parameters, the accuracy measurements and the verification of assumptions for analysis of variance) and by the method of Papadakis. Using the adjusted means for the covariate

(mean of errors of the neighboring plots), the Scott and Knott grouping test ($P=0.05$) is also carried out.

Key words: *experimental precision, spatial variation, accuracy measurements, analysis of variance.*

INTRODUÇÃO

A confiabilidade dos resultados de uma pesquisa é atribuída ao correto planejamento experimental, execução e análise estatística dos dados coletados. No planejamento, é definido o tamanho e o número de unidades experimentais por tratamento, bem como a forma de casualização dos tratamentos ou delineamento experimental. Para a análise estatística dos dados, devem ser testados os pressupostos do modelo matemático e, caso alguma pressuposição não seja atendida, os dados devem ser submetidos a uma transformação adequada ou usar testes não paramétricos. Maior confiabilidade dos resultados dos experimentos também pode ser obtida por meio da realização da análise de covariância, em que alguma variável secundária, não relacionada aos tratamentos, é usada para reduzir o erro experimental e para ajustar as médias dos tratamentos (STEEL et al., 1997).

Novos métodos de análise estatística são ou foram, muitas vezes, de difícil adoção, principalmente, devido ao volume de cálculos necessários, aliado à inexistência de aplicativos

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Rodovia PR 469, Km 01, 85501-970, Pato Branco, PR, Brasil. E-mail: lindolfostorck@gmail.com. *Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

computacionais apropriados, na época de sua divulgação. O método de Papadakis (PAPADAKIS, 1937; CARGNELUTTI FILHO et al., 2003) se enquadra nesta situação. Trata-se de um método de ajuste espacial, que utiliza as médias dos erros experimentais calculadas entre as parcelas vizinhas como covariável, a fim de diminuir a variância do erro experimental. Não há restrição quanto ao número de parcelas e ao formato dos blocos.

O método de Papadakis possui precisão das estimativas das médias e/ou de parâmetros genéticos, no mínimo iguais ao de outros métodos de análise espacial (VIVALDI, 1990; COSTA et al., 2005; CANDIDO et al., 2009). Estudos de simulação (PEARCE, 1998) mostraram que o uso do método de Papadakis implica estimativas dos contrastes não tendenciosas e uma importante redução na estimativa do erro experimental, principalmente em ensaios com formato retangular. Várias aplicações do método de Papadakis, em culturas de milho (CARGNELUTTI FILHO et al., 2003; STORCK et al., 2010), de soja (STORCK et al., 2008; STORCK et al., 2009; STORCK & RIBEIRO, 2011), de feijão (STORCK et al., 2011) e de trigo (BENIN et al., 2013; STORCK & SILVA, 2014), têm mostrado importantes vantagens desse método. Nestes estudos, foram observadas reduções do coeficiente de variação, da diferença mínima significativa entre médias de tratamentos e aumentos da acurácia seletiva, da herdabilidade, do índice de diferenciação de Fasoulas e do coeficiente de determinação do modelo. Também foi observado aumento no coeficiente de repetibilidade e, por consequência, redução no número de repetições necessários para um coeficiente de determinação de valor pré-estabelecido. Foram mantidas as condições dos pressupostos para a análise de variância (aditividade, normalidade, aleatoriedade e homogeneidade de variâncias).

Um aplicativo computacional para a análise de experimentos executados no delineamento blocos ao acaso, por meio do método usual e de Papadakis, foi desenvolvido em sua primeira versão (não publicada), na linguagem de programação Pascal. No entanto, a utilização do aplicativo não era tão amigável. Assim, considerando a eficiência do método, a disponibilização de um aplicativo mais amigável, isto é, de uso mais intuitivo, é importante para a qualificação da análise de dados.

Assim, este trabalho tem por objetivo apresentar o aplicativo computacional referente ao método de Papadakis, que pode ser utilizado para a análise de dados obtidos de experimentos conduzidos, em campo, no delineamento blocos ao

caso. O aplicativo foi denominado *DelPapa*, sendo desenvolvido na linguagem de programação Java, o que o torna independente de sistema operacional, isto é, basta que se tenha a máquina virtual Java instalada e o aplicativo pode ser executado em qualquer sistema operacional.

DESENVOLVIMENTO

Análises executadas no aplicativo *DelPapa*

Considere o modelo matemático para os dados de um experimento no delineamento blocos ao acaso: $Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$, em que Y_{ij} é o valor observado, referente à variável Y , na parcela que recebeu o tratamento i ($i=1, 2, \dots, I$), localizada no bloco j ($j=1, 2, \dots, J$); m é uma constante; t_i é o efeito do tratamento i ; b_j é o efeito aleatório do bloco j ; e e_{ij} é o efeito aleatório do erro experimental (variação não controlada) referente à observação ij . Com os valores observados de um experimento, segundo este modelo, é realizada a análise de variância pelo método usual (STEEL et al., 1997). Desta análise, o aplicativo disponibiliza: quadrado médio de bloco (QMb) e os respectivos valores do teste F e valor-P de significância; o quadrado médio de tratamento (QMg) e os respectivos valores do teste F e valor-P de significância; o quadrado médio do erro (QMe); a média geral (\hat{m}).

A eficiência relativa do uso de blocos em relação ao delineamento inteiramente casualizado ($ERb = 100[(J-1)QMb + (I-1)(J-1)QMe] / [(I(J-1))/QMe]$), em percentagem, é importante quando o efeito de blocos é significativo e informa sobre a necessidade do uso de blocos em ensaios futuros na mesma área experimental. A acurácia seletiva (AS) é estimada como sendo: $AS = (1-1/F)^{1/2}$, para $F > 1$; e $AS = 0$, para $F < 1$, em que F é o valor do teste F para tratamento. Ensaios com $AS > 0,90$ têm precisão muito alta; para $0,70 < AS < 0,90$ precisão alta; para $0,50 < AS < 0,70$ precisão moderada; e $AS < 0,50$ precisão baixa (RESENDE & DUARTE, 2007). O coeficiente de variação do erro experimental (CVe), em percentagem, $CVe = 100\sqrt{QMe/\hat{m}}$, é uma estimativa da precisão experimental a ser usada para comparar ensaios semelhantes.

Resultados importantes para o melhoramento de plantas (STORCK & RIBEIRO, 2011), quando os tratamentos são aleatórios, como: variância genética média [$Vgm = QMg - QMe/J$]; coeficiente de variação genético, em percentagem

($CVg = 100\sqrt{Vgm/\hat{m}}$); proporção de variação genético/ambiental (CVg/CVe); variância fenotípica média ($Vfm = QMg/J$); variância ambiental média

($V_{am} = QMe/J$); e coeficiente de herdabilidade ou coeficiente de determinação genotípico ($h^2 = V_{gm}/V_{fm}$) são calculados.

De acordo com CRUZ & REGAZZI (1997), a estimativa da correlação intraclasse tratamento ou coeficiente de repetibilidade é estimada por $\hat{\rho} = V_{gm}/(V_{gm} + QMe)$.

Ainda, o número de repetições para $R^2=0,80$ é estimado por

$$NR8 = 0,80(1 - \hat{\rho})/0,20\hat{\rho} \quad \text{e para } R^2=0,90 \text{ por}$$

$NR9 = 0,90(1 - \hat{\rho})/0,10\hat{\rho}$. As estimativas do número de repetições são importantes para o redimensionamento dos experimentos futuros, usando as mesmas áreas experimentais (STORCK et al., 2009). A estimativa da correlação intraclasse bloco, $CI = ((QMb - QMe/I) / (QMe + (QMb - QMe/I)))$, é usada para estimar o índice de heterogeneidade (b) da produção ($b = 1 - (\ln(I-1)(1-CI)) / \ln(I)$), importante para a definição do tamanho ótimo de parcela. Valores de b próximos da unidade ($b=1$) significam alta heterogeneidade entre as parcelas experimentais e sugerem que sejam usadas parcelas de tamanho maior para obter maior precisão experimental (STORCK et al., 2007).

Resultados importantes para avaliar a precisão experimental (CARGNELUTTI FILHO & STORCK, 2009) como: amplitude (H) entre as estimativas das médias de tratamentos (diferença entre a maior e a menor estimativa de média) - o valor de H é importante para interpretação do poder de discriminação dos tratamentos; a diferença mínima significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey

(D), $D = q_{(\alpha; I; GLe)} \sqrt{QMe/J}$, sendo $q_{(\alpha; I; GLe)}$ o valor da tabela para o teste de Tukey ($P=0,05$), GLe os graus de liberdade do erro; a diferença mínima significativa entre os tratamentos (DMS), pelo teste de Tukey, expresso em percentagem da média, é obtida por $DMS = 100 D/\hat{m}$; número de diferenças significativas dentro da amplitude entre as médias ($HD=H/D$); índice de diferenciação de Fasoulas (IDF), calculado pela expressão

$$IDF = 200 \sum_{i=1}^n m_i / [n(n-1)]$$

, sendo m_i o número de médias as quais o i -ésimo tratamento supera estatisticamente, após a aplicação do teste de Tukey ($P=0,05$). O IDF é o percentual do número de diferenças significativas entre as médias que o método de comparação múltiplas de médias (Tukey) consegue detectar em relação ao número total de pares de médias. O valor da estatística R^2 , designada por coeficiente de determinação (CARGNELUTTI FILHO & STORCK, 2007), expressa por $R^2 = QMg/$

($QMg + QMe$), em que QMg é o quadrado médio de tratamentos.

Para os testes dos pressupostos do modelo $Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$, é calculado, para cada observação ij , o erro:

$$\hat{e}_{ij} = Y_{ij} - \hat{m} - \hat{t}_i - \hat{b}_j$$

O teste de Lilliefors (SPRENT & SMEETON, 2007) é aplicado para verificar a hipótese de normalidade da distribuição dos erros ($P=0,05$). Para o teste da aleatoriedade ou teste de sequência (SPRENT & SMEETON, 2007) dos erros, a hipótese a ser testada é H_0 : a sequência dos erros é aleatória contra a hipótese alternativa H_1 : a sequência dos erros não é aleatória. Para a aplicação deste teste, os valores do erro são classificados em acima (classe positivo) e abaixo (classe negativo) da média. As classes dos erros são identificadas e espacialmente posicionadas (fila e coluna) nas parcelas do experimento. O valor do teste (c) é igual ao número de grupos de mesma classe, na sequência pré-determinada. A sequência é determinada, começando pela fila 01 (coluna um até última coluna), seguindo na fila 02 pelo sentido inverso (última coluna até a primeira coluna) e, assim, sucessivamente até a última fila e coluna. Sendo m o número de parcelas da classe positivo e n o número de parcelas da classe negativo, então $m+n$ = número de parcelas. Para os casos em que $m > 10$ ou $n > 10$ (experimentos têm, em geral, mais de 20 parcelas) é usada a aproximação da distribuição normal padrão (z). Esta aproximação é

$$z = \frac{c - E(c)}{\sqrt{V(c)}} \quad \text{, em que } c \text{ é o valor observado do teste;}$$

$$E(c) = 1 + \frac{2mn}{m+n} \quad \text{e} \quad V(c) = \frac{2mn(2mn - m - n)}{(m+n)^2(m+n-1)}$$

Rejeita-se H_0 , se $z > |z_{\alpha/2}|$ em nível α de probabilidade. O teste de Bartlett (STEEL et al., 1997), com $P=0,05$, é aplicado para verificar a homogeneidade das variâncias dos erros para os tratamentos e indica se é necessário transformar os dados. A aditividade do modelo matemático é verificada pelo teste de não-aditividade do modelo matemático (STEEL et al., 1997). Os objetivos propostos pelo teste de não-aditividade são quanto à necessidade de haver a transformação dos dados e, também, sugerir o tipo de transformação mais apropriada para os dados e analisar se a transformação dos dados foi bem sucedida, isto é, se produziu aditividade ao modelo. No caso de se rejeitar a hipótese da aditividade do modelo, é calculado o expoente (P) da variável mais adequado para que o modelo seja aditivo (P próximo a 0,5, a transformação é a raiz quadrada; P próximo a zero, transformação logarítmica; P próximo a "-1", transformação recíproca; P próximo a "-0,5", a transformação é a 1/Raiz de Y). Ao constatar a necessidade de transformação dos dados, o usuário pode

aplicada a transformação adequada usando a planilha de dados, submetendo os valores a uma nova análise pelo aplicativo *DelPapa*. Maiores detalhes referentes aos testes das pressuposições podem ser consultados em MARTIN & STORCK (2008).

Para a análise pelo método de Papadakis, o modelo matemático em blocos ao acaso é reduzido para o modelo inteiramente casualizado: $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$. É calculado, para cada observação ij , o valor de $\hat{e}_{ij} = Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{t}_i = Y_{ij} - \bar{Y}_i$.

Para exemplificar, considere a distribuição de 14 tratamentos (cultivares de feijão) em três repetições e os respectivos resultados (produtividade de grãos de feijão, em kg ha⁻¹) da variável observada (Figura 1A e B). As parcelas no mapa são identificadas pelo número de ordem da fila (F) e número de ordem da coluna (C). Os valores de \hat{e}_{ij} são posicionados sobre

as respectivas parcelas no mapa do experimento de campo (Figura 1C). Com os valores \hat{e}_{ij} , é calculado o erro médio para cada parcela como sendo a média das estimativas dos erros da parcela considerada e das parcelas vizinhas (lado direito, lado esquerdo, da frente e do fundo) existentes em cada posição (Figura 1D) identificada pelo número de ordem da fila (F) e da coluna (C). Como exemplo, o erro médio correspondente à parcela na fila F1 x coluna C3 é igual a $(-161,7 + 172,0 + 118,0 + 269,3)/4 = 99,4$. O valor do erro médio é denominado de covariável (C_{ij}) para fins de análise de covariância, segundo o delineamento inteiramente casualizado (STEEL et al., 1997), o que corresponde à aplicação do método de Papadakis.

Visando a caracterizar a covariável (C_{ij}), é realizada a análise dos pressupostos (normalidade,

(A)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
B1=F														
1	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
B2=F														
2	T13	T7	T6	T8	T9	T14	T2	T11	T12	T5	T4	T1	T10	T3
B3=F														
3	T9	T5	T12	T3	T11	T4	T6	T10	T7	T2	T14	T1	T8	T13

(B)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
B1=F														
1	1609	1055	1354	1361	838	1240	1194	511	887	916	1071	744	1140	1244
B2=F														
2	1391	1218	1995	1023	885	1253	798	1355	1119	1084	1154	923	1585	1399
B3=F														
3	1446	1793	1381	1794	2328	1214	1942	1572	1710	796	1263	860	714	1261

(C)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
B1=F1	478,3	172,0	-161,7	118,0	-400,3	-485,7	-180,0	-238,3	-185,7	-441,7	-513,7	-337,3	-124,0	-9,3
B2=F2	127,0	-156,0	269,3	273,7	-187,7	-0,3	-85,0	-229,7	37,7	-154,3	-89,0	-207,7	227,3	-116,7
B3=F3	373,3	554,7	299,7	278,3	743,3	-29,0	216,3	214,3	336,0	-87,0	9,7	-270,7	-35,3	-3,0

(D)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
B1=F1	259,1	83,2	99,4	-42,6	-238,9	-266,6	-247,3	-208,4	-207,0	-323,8	-345,4	-295,7	-60,8	-83,3
B2=F2	205,7	193,4	105,0	150,3	85,7	-157,5	-55,7	-60,2	-39,2	-146,9	-191,0	-135,5	-51,3	24,6
B3=F3	351,7	267,9	350,5	398,8	201,3	232,6	79,2	134,3	125,3	26,1	-109,3	-126,0	-20,4	-51,7

Figura 1 - Mapa de um experimento de 14 tratamentos (T1, T2, ..., T14) no delineamento blocos ao acaso com três repetições (B1, B2 e B3) e parcelas dispostas em três filas (F1, F2 e F3) e 14 colunas (C1, C2, ..., C14) na parte (A, tratamentos) e respectivos valores da variável observada (produtividade de grãos de feijão, kg ha⁻¹) na parte (B, dados de STORCK et al., 2011), estimativas dos erros sobre as parcelas (C) e as estimativas da covariável (D, média dos erros nas parcelas vizinhas).

aleatoriedade e homogeneidade das variâncias) de C_{ij} . A análise de variância dos valores de C_{ij} , segundo o modelo blocos ao acaso, estima o quadrado médio de bloco, valor do teste F e respectivo valor-P do teste, mostrando que o efeito de bloco, em geral, permanece presente. Também é estimado o QMg e respectivo valor do teste F e valor-P, mostrando a ausência do efeito de tratamento.

Na sequência, o aplicativo *DelPapa*, realiza a análise de covariância, segundo o modelo

$Y_{ij} = m + t_i + \beta(C_{ij} - \bar{C}_{..}) + e_{ij}$, com testes de hipóteses do efeito linear (β) da covariável (C_{ij}) e do efeito de tratamentos ajustados, conforme STEEL et al. (1997). São obtidas as estimativas de amplitude (H) entre médias ajustadas dos tratamentos, CV, D, DMS, HD, IDF, R^2 e AS. Também é estimada a eficiência relativa do uso da análise de covariância em relação ao uso da análise de variância, segundo o delineamento blocos ao acaso. As hipóteses dos pressupostos (normalidade, aleatoriedade e homogeneidade das variâncias), referentes ao erro no modelo de análise de covariância, são testadas. É realizado o teste do paralelismo entre os tratamentos para o efeito linear da covariável (SEBER, 1976). A hipótese testada é $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p$, com $P=0,05$. A falta de paralelismo entre os tratamentos implica diferenças nos graus da sensibilidade dos tratamentos em relação à variação do erro médio, fato que pode causar tendenciosidade no ajuste das médias de tratamentos.

É testada a hipótese de que o método de Papadakis reduz a variância do erro experimental, em relação ao delineamento blocos ao acaso, por meio da estatística $F = QMe/QM_{EA}$, em que: QMe é o quadrado médio do erro da análise de variância com delineamento blocos ao acaso; e QM_{EA} é o quadrado médio do erro ajustado pelo método de Papadakis, ou da análise de covariância.

As médias ajustadas (\bar{Y}_{a_i}) dos tratamentos são calculadas por $\bar{Y}_{a_i} = \bar{Y}_i - \hat{\beta}(\bar{C}_i - \bar{C}_{..})$, com as quais é realizado o teste de comparação de médias ajustadas pelo método de Scott e Knott ($P=0,05$) (RAMALHO et al. 2005).

Preparo dos dados e análise no aplicativo *DelPapa*

O usuário deve organizar os dados sobre um mapa do experimento (Figura 1A), ou seja, a identificação da posição relativa de cada parcela no espaço físico (número da fila = F; número da coluna = C, tal que $F < C$) e o respectivo número do tratamento e do bloco (B). Com a identificação espacial (F x C) de cada parcela, os dados do experimento são registrados (Figura 1B).

A partir das informações da Figura 1(A e B), o usuário do aplicativo *DelPapa* deve preparar o arquivo com os dados para a análise. Neste arquivo (de preferência, em planilha de dados), deve escrever os valores nas respectivas colunas. Na coluna “Bloco”, deve escrever o número do bloco, variando de 1 até $J=3$ (no exemplo); na coluna “Tratamento”, deve escrever o número da cultivar, variando de 1 até $I=14$ (no exemplo); na coluna “Fila”, deve escrever o número da fila, variando de 1 até número de filas (no exemplo = 3), na coluna “Coluna”, deve escrever o número da coluna, variando de 1 até número de colunas (no exemplo = 14); e, na coluna variável, deve escrever os respectivos valores das parcelas (Figura 1B). Neste arquivo, os dados podem estar ordenados por qualquer um dos indexadores (bloco, tratamento, fila e coluna) ou até pela magnitude da variável resposta. Usar o “ponto” para separar os decimais. Gravar o arquivo com os dados com o “nome.CSV” (a partir da planilha dos dados, Salvar como “outros formatos” => tipo = CSV (separado por vírgulas)) num endereço conhecido. O arquivo também pode ser copiado e colado em editor de texto e gravado como nome.txt e, posteriormente, renomeado como nome.CSV.

As diversas variáveis respostas de um experimento são analisadas individualmente, ou seja, deve haver uma submissão para cada variável. O usuário pode obter um tutorial completo referente ao uso do aplicativo no endereço <<https://sourceforge.net/projects/delpapa/files/?source=navbar>>, junto com o aplicativo *DelPapa*.

CONCLUSÃO

O nome do aplicativo “*DelPapa*” é composto por Del+Papa, *Del* de delineamento e *Papa* de método de Papadakis. A implementação do *DelPapa* em Java permite que o aplicativo seja executado em qualquer sistema operacional, desde que a máquina virtual Java (*Java Runtime Environment - JRE*) esteja instalada, abrangendo um grande número de potenciais usuários. Além disso, o aplicativo está disponibilizado sob a licença GPL v3, no endereço <<https://sourceforge.net/projects/delpapa/files/?source=navbar>>. Como está disponível sob a licença GPL v3, permite que qualquer usuário possa usar o aplicativo livremente, assim como possa distribuí-lo e mesmo possa aperfeiçoar o aplicativo, visto que o código fonte também está disponível na página.

Em princípio, é possível aplicar o método de Papadakis, usando o aplicativo *DelPapa*, para qualquer variável avaliada em experimentos de campo, cujos tratamentos são qualitativos e que se quer comparar as médias ajustadas pela covariável

de natureza espacial. No entanto, dependendo do tipo de tratamento, algumas estatísticas podem não ter significado, como, por exemplo, a variância genética, o coeficiente de variação genético e de herdabilidade e a acurácia seletiva, para tratamentos de manejo cultural ou tratamentos fitossanitários entre outros. Diferentes variáveis do mesmo experimento podem resultar em diferentes graus de eficiência do método. A saída dos resultados da análise é apresentada numa tabela de três

colunas (Tabela 1): primeira coluna, para os resultados da variável original; segunda coluna, para os resultados da covariável; e terceira coluna, para os resultados pelo método de Papadakis. A comparação dos resultados (estatísticas que estimam a precisão experimental) obtidos nas diferentes colunas permite inferir sobre a eficiência do uso do método de Papadakis. Esta comparação pode ser importante quando forem analisados vários experimentos.

Tabela 1 - Modelo de saída dos resultados para os dados da parte inferior da figura 1.

Descrição	Variável	Covariável	Papadakis
Número de tratamentos	14	-	-
Número de repetições	3	-	-
Número de parcelas	42	-	-
Quadrado médio de bloco	435048,66	249637,24	-
Valor do teste F para bloco	4,6808	7,5152	-
Valor-P do teste F para bloco	0,018132	0,002753	-
Eficiência relativa do uso de bloco (%)	126,3	-	-
Quadrado médio de tratamento	206686,38	15175,94	230738,80
Valor do teste F para tratamento	2,2238	0,4568	6,5029
Valor da Acurácia seletiva	0,741836	-	0,919904
Valor-P do teste F para tratamento	0,04017	0,92956	0,00002
Quadrado médio do erro	92942,74	33217,53	35482,26
Média geral do experimento	1248,09	-	1248,09
Coeficiente de variação experimental (%)	24,4	-	15,1
Variância genética média	37914,54	-	65085,51
Coeficiente de variação genético (%)	15,6	-	20,4
Proporção genético/ambiental	0,638697	-	1,354367
Variância fenotípica média	68895,46	-	76912,93
Variância ambiental média	30980,91	-	11827,42
Herdabilidade média (h^2)	0,55032	-	0,846223
Correlação intraclasse bloco (repetib.)	0,208182	-	-
Índice de heterogeneidade (b, Smith)	0,503591	-	-
Correlação intraclasse tratamento (repetib.)	0,28974	-	0,64718
Número de repetições para $R^2 = 0.80$	9,8	-	2,2
Número de repetições para $R^2 = 0.90$	22	-	4,9
Valor do teste Tukey (5%) = Delta	940,50	-	582,33
Amplitude dos dados da covariável	-	744,17	-
Amplitude das médias de tratamento (Ampl)	976,33	290,95	978,04
Diferença mínima significativa(%)	75,35	-	46,65
Ampl/Delta	1,038099	-	1,679528
Índice de diferenciação de Fasoulas (5%)	1,0989	-	13,1868
Coeficiente de determinação (%)	69,0	-	86,7
Normalidade dos erros (5%)	Distrib Normal	Distrib Normal	Distrib Normal
Aleatoriedade dos erros (5%)	Aleatório	Aleatório	Aleatório
Variância entre tratamentos (5%)	Homogêneas	Homogêneas	Homogêneas
Aditividade (5%)	Transf=1/Raiz(Y)	-	-
Coeficiente de regressão da covariável (Beta)	-	-	1,307102
Quadrado médio da covariável (Beta)	-	-	2328587,59
Valor do teste F para covariável (Beta)	-	-	65,6268
Valor-P do teste F para covariável (Beta)	-	-	0,0000
Eficiência relativa da covariável (%)	-	-	163,6
Paralelismo	-	-	Paralelo

O leitor pode observar que o número de estatísticas descritas é grande e diversificado (Tabela 1), podendo ser agrupadas pela sua importância. No primeiro grupo de estatísticas, são consideradas aquelas de interesse na comparação de tratamentos: significância do efeito de tratamento (sem e com Papadakis) e teste de Scott e Knott com médias ajustadas (Tabela 2). Num segundo grupo, estão as medidas de precisão experimental: acurácia seletiva, valor do teste F para tratamento, herdabilidade, diferença mínima significativa, coeficiente de variação do erro experimental, índice de diferenciação de Fasoulas e coeficiente de determinação do modelo. Num terceiro grupo, estão as informações quanto ao atendimento aos pressupostos: normalidade dos erros, aditividade do modelo, homogeneidade de variâncias e aleatoriedade dos erros. Num quarto grupo, estão algumas estatísticas de interesse na área de melhoramento genético: variância fenotípica, genotípica e ambiental média, coeficiente de variação genético, proporção da variação genético/ambiental e herdabilidade. Num quinto grupo: índice de heterogeneidade, útil para dimensionar o experimento quanto ao número de repetições, tamanho de parcela e precisão pelo método de Hatheway; correlação intraclasse tratamento e número de repetições necessários para uma determinação pré-estabelecida. Por fim, o efeito linear da covariável e sua significância, a eficiência relativa da covariável e o teste de paralelismo do efeito linear da covariável entre os tratamentos, que é uma propriedade importante da análise de covariância.

Espera-se, com a disponibilização do aplicativo *DelPapa*, ampliar a frequência de uso

Tabela 2 - Saída dos resultados da aplicação do teste Scott e Knott (valor-P=0,05).

Tratamento	Média	Classe
6	1758,8	A
11	1670,9	A
10	1459,8	B
14	1403,1	B
7	1340,1	B
5	1286,9	B
3	1285,1	B
4	1240,6	B
13	1220,6	B
1	1128,9	C
12	1071,7	C
9	969,5	C
2	856,9	C
8	780,7	C

deste método e consolidar as vantagens e a eficiência nas mais diferentes situações (culturas, variáveis respostas e tratamentos). Assim, este aplicativo pode auxiliar no convencimento para o uso rotineiro da prática desta e/ou de outras práticas de análises espaciais com maior precisão. Por fim, os autores esperam contar com a avaliação e a crítica referente a este aplicativo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (bolsas de produtividade em pesquisa) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Edital 6/2012, PVNS).

REFERÊNCIAS

- BENIN, G. et al. Improving the precision of genotype selection in wheat performance trials. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, p.234-240, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-70332013000400003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 21 mar. 2014.
- CANDIDO, L.S. et al. Análise de vizinhança na avaliação de genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1304-1311, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n10/v44n10a14.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2009001000014.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Ajustes de quadrado médio do erro em ensaios de competição de cultivares de milho pelo método de Papadakis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.467-473, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v38n4/a04v38n4.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2003000400004.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.17-24, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v42n1/03.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2007000100003.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.111-117, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n2/v44n02a01.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2009000200001.
- COSTA, J.R. et al. Análise espacial e de vizinhança no melhoramento genético de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1073-1079, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n11/a04v4011.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2005001100004.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 1997. 390p.
- MARTIN, T.N.; STORCK, L. Análise das pressuposições do modelo matemático em experimentos agrícolas no delineamento

- blocos ao acaso. In: MARTIN, T.N.; ZIECH, M.F. (Org.). **Sistemas de produção agropecuária**. Dois Vizinhos: UTFPR, 2008. V.1, p.177-196.
- PAPADAKIS, J.S. **Méthode statistique pour des expériences sur champ**. Thessalonike: Institut d'Amélioration des Plantes à Salonique, 1937. 30p. (Bulletin, 23).
- PEARCE, S.C. Field experimentation on rough land: the method of Papadakis reconsidered. **Journal of Agricultural Science**, v.131, p.1-11, 1998.
- RAMALHO, M.A.P. et al. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 322p.
- RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.182-194, 2007. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/1867/1773>>. Acesso em: 11 ago. 2013.
- SEBER, G.A.F. **Linear regression analysis**. NewYork: John Wiley & Sons, 1976. 465p.
- SPRENT, P.; SMEETON, N.C. **Applied nonparametric statistical methods**. 4.ed. Boca Raton: Chapman & Hall, 2007. 530p.
- STEEL, R.G.D. et al. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3.ed. New York: McGraw Hill Book, 1997. 666p.
- STORCK, L. et al. Experimental precision in corn trials using the Papadakis method. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.1458-1464, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v34n6/15.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2013. doi: 10.1590/S1413-70542010000600015.
- STORCK, L. et al. Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. **Ciência Rural**, v.39, p.977-982, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2009nahead/a133cr557.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2013. doi: 10.1590/S0103-84782009005000027.
- STORCK, L. et al. Persistência do plano experimental em ensaios de avaliação de germoplasma elite de feijão. **Ciência Rural**, v.37, p.1549-1553, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n6/a07v37n6.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2014. doi: 10.1590/S0103-84782007000600007.
- STORCK, L. et al. Precisão experimental de ensaios de feijão analisada pelo método de Papadakis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.798-804, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n8/03.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2011000800003.
- STORCK, L. et al. Utilização do método de Papadakis na melhoria da qualidade experimental de ensaios com soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.581-587, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n5/a05v43n5.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2013. doi: 10.1590/S0100-204X2008000500005.
- STORCK, L.; RIBEIRO, N.D. Valores genéticos de linhas puras de soja preditos com o uso do método de Papadakis. **Bragantia**, v.70, p.753-758, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n4/04.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2013. doi: 10.1590/S0006-87052011000400004.
- STORCK, L.; SILVA, M.S. Precisão experimental dos ensaios de trigo analisados pelo método de Papadakis. **Ciência Rural**, v.44, p.407-413, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000300004>>. Acesso em: 21 mar. 2014.
- VIVALDI, L.J. Comparação entre métodos de análise espacial de experimentos de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, p.77-84, 1990.