

# EMPREGO DO TESTE DE ESFERICIDADE DE MAUCHLY EM UM EXPERIMENTO DE FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA COM MEDIDAS REPETIDAS AO LONGO DO TEMPO<sup>1</sup>

Marília Regina Costa Castro LYRA<sup>2</sup>  
José Antônio Aleixo da SILVA<sup>3</sup>  
Mário Monteiro ROLIM<sup>4</sup>

**RESUMO:** Este trabalho tem como principal objetivo aplicar o teste de esfericidade de Mauchly para verificar qual o tipo de análise estatística deve ser aplicada para avaliar o potencial poluidor da fertirrigação com vinhaça ao longo de tempo sobre o lençol freático de um plantio de cana-de-açúcar. Para tal, foram determinados os seguintes parâmetros físico-químicos das amostras de água coletadas no lençol freático: demanda bioquímica de oxigênio (DQO), demanda química de oxigênio (DBO), condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), bicarbonatos (BICAR), sódio (NA), potássio (K), cálcio (CA), magnésio (MG), cloretos (CL), nitrato (NITRA), nitrito (NITRI) e pH. Através do teste de esfericidade de Mauchly, verificou-se que para as variáveis: DQO, DBO, BICAR, CLORE, NA, K, CA, MG e pH, a análise estatística correta deve ser multivariada com medidas repetidas, que confirma a existência de dependência entre as medidas ao longo do tempo. Para CE, SDT e NITRA a análise deve ser univariada com parcelas subdivididas.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** Análise Univariada, Análise Multivariada, Medidas Repetidas, Vinhaça.

## APPLICATION OF THE MAUCHLY SPHERICITY TEST IN AN EXPERIMENT OF FERTIRRIGATION WITH VINASSE USING REPEATED MEASURES ALONG THE TIME

**ABSTRACT:** This work had as main objective to apply the sphericity test of Mauchly to verify which the statistical analysis should be applied to evaluate the pollutant potential of the fertirrigation with vinasse along the time in the water table of a cane of sugar plantation. For such, it was determined the following physiochemical parameters of the samples of water collected in the water table: biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), electric conductivity (EC), total solids dissolved (TSD), bicarbonates (BICAR), sodium (NA), potassium (K), calcium (CA), magnesium (MG), chlorides (CL), nitrate (NITRA), nitrite (NITRI) and pH. Through the sphericity

<sup>1</sup> Aprovado para publicação em 07.04.06

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma. M.Sc., Doutoranda em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco UFPE. E-mail: [mrlyra@uol.com.br](mailto:mrlyra@uol.com.br)

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo. PhD., Professor Adjunto do Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE. E-mail: [jaaleixo@uol.com.br](mailto:jaaleixo@uol.com.br)

<sup>4</sup> Engenheiro Civil. Dr., Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE. E-mail: [rolim@uol.com.br](mailto:rolim@uol.com.br)

test of Mauchly, it was verified that for the variables: BOD, COD, BICAR, CL, NA, K, CA, MG and pH, the correct statistical analysis should be multivariate with repeated measures, that confirms the dependence existence among the measures along the time. For EC, TSD and NITRA the analysis should be univariada with split plot design.

**INDEX TERMS:** Univariate Analysis, Multivariate Analysis, Repeated Measurements, Vinasse.

## 1 INTRODUÇÃO

A vinhaça também denominada de vinhoto é o principal resíduo da indústria sucroalcooleira, podendo ter diversas opções de uso. No entanto, a utilização nos canaviais, substituindo parcial ou totalmente a adubação mineral, tem sido a alternativa mais adotada pelos produtores. Dessa forma a disposição do resíduo no solo de modo não racional poderá gerar diferentes tipos de poluição: no solo, pela aplicação de dosagens incompatíveis com o teor de oxigênio e população microbiana; nos reservatórios e canais resultando em emissão de odor desagradável às populações vizinhas; nos rios, pelo lançamento direto da água residuária causando redução da taxa de oxigênio dissolvido, e conseqüente morte dos peixes e outras formas de vida aquática; nas águas subterrâneas, pela percolação do nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) não aproveitado pela cultura ao longo do perfil do solo podendo atingir os aquíferos confinados e não confinados e a longo termo tornar essa água não potável (LYRA, 2002).

A dimensão do problema ambiental da destinação da vinhaça se associa à importância econômica histórica da própria agroindústria canvieira no país. Os núme-

ros do setor impressionam pela grande extensão da área cultivada e, também, se destacam pela mobilização de um significativo contingente humano, produtores rurais e trabalhadores braçais de baixa qualificação. Finalmente, o próprio volume da produção canvieira, em termos absolutos, chama a atenção (CORAZZA, 1998).

A produção crescente de etanol no Brasil que teve lugar com a implementação do Pró-Álcool em 1975 levou, inevitavelmente, ao aumento da produção da vinhaça, agravando, portanto, o problema do destino do resíduo. Como cada litro de álcool origina cerca de 12 litros de vinhaça, o crescimento da geração deste resíduo foi vertiginoso. O volume de vinhaça gerado anualmente, no país, pode ser estimado tendo em vista a produção atual de álcool, em algo em torno de 192 bilhões de litros (LUDOVICE, 1997).

A utilização da vinhaça na fertirrigação não representa apenas uma prática de provável melhor condução de um efluente com elevada capacidade de poluição, respeitando critérios técnicos preestabelecidos, mas, também, uma alternativa econômica, já que sua aplicação contribui para reduzir os custos de produção da cana-de-açúcar.

apesar dos investimentos iniciais elevados para aquisição dos equipamentos de irrigação (PERNAMBUCO, 2000).

A vinhaça procedente da fermentação do mel final é considerada por Almeida (1952) como um resíduo composto de 93% de água e 7% de sólidos; desses, 74,85% é matéria orgânica e o restante 25,15% corresponde à fração mineral. Alguns fatores interferem na composição química da vinhaça, como a natureza e origem da matéria-prima e o tipo e a condução do aparelho de destilação.

Dependendo da concentração desses componentes e das características físicas do solo, eles podem percolar pelo solo, vindo a constituir uma fonte poluidora do lençol freático. Segundo Almeida (1952) e Centurión et al. (1989), a vinhaça, como fator de poluição dos corpos de água, possui ação redutora extremamente alta, exigindo uma elevada quantidade de oxigênio para decomposição da matéria orgânica nela contida. A vinhaça usada na fertirrigação é aplicada no plantio em diferentes tempos, dependendo do ciclo da cana-de-açúcar.

Na formulação de experimentos para avaliar o efeito de tratamentos ao longo do tempo, geralmente, se tem utilizado um delineamento básico univariado em que o tempo é considerado como um tratamento independente.

Na realidade, em estudos em que a mesma variável resposta é mensurada na mesma unidade experimental ao longo do tempo, ou quando a mesma unidade experimental recebe vários tratamentos em dife-

rentes tempos, algumas pressuposições devem ser consideradas com respeito à forma de se fazer a análise da variância, que poderá ser univariada ou multivariada.

Na análise univariada, medidas ao longo do tempo na mesma unidade experimental são tratadas como observações separadas e o tempo é incluído como tratamentos independentes na análise da variância (ANOVA).

Na análise multivariada, medidas ao longo do tempo são consideradas elementos de um mesmo tratamento, portanto uma simples observação na análise multivariada (MANOVA).

Quando a análise é feita de forma univariada, o usual é empregar um delineamento básico, geralmente, inteiramente aleatório ou blocos casualizados, arranjado em parcelas subdivididas, em que as mensurações ao longo do tempo são analisadas como sendo subparcelas. Nesse caso, são feitas as pressuposições de que o erro da parcela que envolve os tratamentos, bem como o erro das subparcelas em que ocorrem o tempo e a interação tempo versus tratamento, possuam distribuição normal, sejam independentes e identicamente distribuídos, com variâncias constantes ( $\sigma^2$ ) e que a matriz de covariâncias possua a propriedade de simetria composta, isto é, a variável aleatória seja igualmente correlacionada e possua variâncias iguais ao longo do tempo. Quando ocorre a violação de um dos pressupostos acima citados o teste de F é tendencioso (GREENHOUSE; GEISSER, 1959; COLE; GRIZZLE, 1966; STUKER, 1986; FERNANDES, 1991; XAVIER; DIAS, 2001).

Nos estudos de medidas repetidas ao longo do tempo, em qualquer delineamento usando o esquema de parcelas subdivididas, os níveis desse tempo não podem ser aleatorizados para seus intervalos. Dessa forma, a análise de variância usual pode não ser válida, porque com a falta de aleatorização os erros correspondentes às respectivas unidades experimentais ou indivíduos podem ter uma matriz de covariância que não é igual àquela exigida para que a análise usual de um delineamento seja válida, isto é variâncias homogêneas (XAVIER, 2000).

A análise de variância em parcelas subdivididas é válida para a parte referente às parcelas que independe da correlação entre parcelas. A parte da análise referente às subparcelas e interação não é válida pois existe correlação entre as parcelas (STUKER, 1986).

De acordo com Greenhouse e Geisser (1959), essas pressuposições muito restritivas e que é mais adequado considerar as observações no tempo como um vetor de amostras de uma distribuição normal multivariada com a matriz de covariância arbitrária. Na realidade esta pressuposição (independência entre as observações) tende a não ocorrer, pois tais observações, geralmente, são correlacionadas (WINER, 1971; VONESH; CHINCHILLI, 1997; KLEINBAUN et al., 1998).

Como alternativa para a análise de medidas repetidas no tempo, tem-se a análise multivariada, que pode apresentar menor poder em seus testes e às vezes indicar diferenças significativas onde realmente

não existem. Mas, esses riscos podem ser minimizados se garantindo que os erros tenham distribuição normal multivariada. Por esse motivo, segundo Singer e Andrade (1986) e Pimentel Gomes (1984) a análise multivariada de medidas repetidas, também conhecida como **análise multivariada de perfis**, é uma solução natural para dados de medidas ao longo do tempo nas mesmas unidades experimentais.

De acordo com Miliken e Johnson (1992), um delineamento de parcelas subdivididas com medidas repetidas no tempo requer uma determinada condição para a matriz de covariâncias dos erros.

Uma condição suficiente para que o teste F da análise de variância usual, em nível de subparcela, para o fator tempo e interação e interação tempos x tratamentos, seja válido, é que a matriz de covariâncias tenha uma forma chamada de simetria composta, que ocorre quando a matriz de covariâncias puder ser expressa, por exemplo, como:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} (\sigma^2 + \sigma_1^2) & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & (\sigma^2 + \sigma_1^2) & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & (\sigma^2 + \sigma_1^2) & \sigma_1^2 \\ \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & \sigma_1^2 & (\sigma^2 + \sigma_1^2) \end{pmatrix}$$

em que:

$\sigma^2$  : é a variância da subparcela (intra-indivíduos);

$\sigma_1^2$  : é a variância da parcela (entre indivíduos).

A condição denominada de Huynh-Feld (H-F), especifica que os elementos da matriz de covariâncias  $\Sigma$  sejam expressos, para um  $\lambda > 0$ , como:

$$\Sigma = \begin{vmatrix} \sigma_1^2 & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_3^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_4^2)}{2} - \lambda \\ \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_1^2)}{2} - \lambda & \sigma_2^2 & \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_3^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_2^2 + \sigma_4^2)}{2} - \lambda \\ \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_1^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_2^2)}{2} - \lambda & \sigma_3^2 & \frac{(\sigma_3^2 + \sigma_4^2)}{2} - \lambda \\ \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_1^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_2^2)}{2} - \lambda & \frac{(\sigma_4^2 + \sigma_3^2)}{2} - \lambda & \sigma_4^2 \end{vmatrix}$$

$\lambda$  = média das variâncias – média das covariâncias

Assim, a matriz de covariâncias é dita do tipo (H-F) de simetria composta, se:

$$\sigma_{y_j - y_i}^2 = \sigma_j^2 + \sigma_i^2 - 2\sigma_{ji} = a, \text{ em que "a" é constante } \forall j \neq i$$

A matriz de covariâncias  $\Sigma$ , na forma da simetria composta e erros independentes, é um caso especial da condição de H-F.

Para verificar se a matriz de covariâncias atende à condição (H-F), Mauchly (1940) propôs o teste de esfericidade que verifica se uma população normal multivariada apresenta variâncias iguais e as correlações nulas. A violação da condição de H-F leva a testes muito liberais para os fatores da subparcela, para tempos e para a interação tempos x tratamentos, (MEREDITH; STEHMAN, 1991<sup>5</sup> apud XAVIER 2000).

Quando a estrutura da matriz de  $\Sigma$  apresenta a forma de simetria composta, é

necessário utilizar outros métodos para encontrar um modelo que permita a utilização da estrutura da matriz de covariâncias que melhor represente o conjunto de dados em questão, ou a utilização de um fator de correção de graus de liberdade do fator da subparcela. Neste caso, pode se utilizar o Critério de Informação de Akaike (AIC) ou um teste de razão de máxima verossimilhança (SOUZA, 2003).

O teste de esfericidade proposto por Mauchly (1940), utiliza a condição H-F para a matriz de covariâncias das t medidas repetidas no tempo, dos indivíduos nos (t-1) contrastes ortogonais normalizados, para as medidas repetidas não correlacionadas com variâncias iguais (dois contrastes são ortogonais quando a soma dos pares de produtos dos coeficientes dos contrastes for igual a zero). A ortogonalidade dos contrastes garante: que cada contraste seja associado a uma única porção de variabilidade explicada pelo efeito que se está testando o número máximo de hipóteses, em que cada hipótese é associada a uma única porção da variabilidade explicada pelo modelo, e, ainda, que o teste é, aproximadamente, independente.

Assim, se  $\Sigma$  é a matriz de covariâncias das medidas repetidas no tempo, a condição requerida pelo teste H-F para as covariâncias dos contrastes é:

$$C_{(t-1) \times t} \Sigma_{(t \times t)} C'_{t \times (t-1)} = \lambda I_{(t-1) \times (t-1)}$$

em que:

<sup>5</sup> MEREDITH, M.P.; STEHMAN, S.V. Repeated measures experiments in forestry: focus on analysis of response curves. *canadian Journal of Forest Research*, v. 21, p. 957-965, 1991.

$C$  = matriz de coeficientes dos contrastes ortogonais normalizados que apresenta o total de hipóteses nulas;

$\Sigma$  = matriz de covariâncias;

$\lambda$  = escalar maior do que zero;

$I$  = matriz identidade.

Satisfeita esta condição, a matriz de covariâncias  $\Sigma$  é dita esférica.

Cole e Grizzle (1966) também afirmam que nessas situações é mais válida a análise multivariada porque a matriz de covariâncias se torna heterogênea no decorrer do tempo.

Por outro lado a análise de variância multivariada (MANOVA) é um método alternativo mais geral, uma vez que não faz qualquer restrição quanto à estrutura de variâncias e covariâncias de medidas tomadas sobre a mesma unidade experimental (STUKER, 1986).

Considere  $y_1, y_2, \dots, y_n$  como uma sequência de medidas (média da altura de mudas, largura de anéis de crescimento, pluviosidade anual, etc) serem tomadas em  $n$  distintos tempos. Tais dados são chamados de **medidas repetidas**, se a mensurações são feitas em um número relativo de poucas ocasiões: igual ou inferior a 10 (dez). Quando o número de medições é elevado as análises estatísticas são feitas através de **séries temporais** (NEMEC, 1996).

Estudos com medidas repetidas podem envolver vários tratamentos na mesma unidade experimental ou somente um único tratamento que é avaliado em diferentes espaços de tempo (HOWELL, 2002).

Segundo Girden (1992), diferentemente dos desenhos experimentais clássicos, na análise multivariada um grupo de indivíduos pode ser submetido a mais de um tratamento. Esta metodologia possui certas vantagens, entre elas se pode citar que o número de indivíduos necessário para o experimento é menor e o tratamento serve como próprio controle.

A análise multivariada adota pressuposições, completamente gerais, determinadas pelos dados, sobre a estrutura da matriz de variâncias e covariâncias de classes sobre uma mesma unidade experimental. Fornece, ainda, resultados baseados na análise conjunta de todas as classes utilizadas, podem levar, portanto, a conclusões com um nível de confiança conhecido (STUKER, 1986).

A principal vantagem das medidas repetidas é que proporcionam bons resultados para comparar tratamentos, porque todas as causas de variação entre fatores são excluídas do erro experimental (não têm repetições dentro dos blocos).

Uma das desvantagens de medidas repetidas é que pode existir vários tipos de interferência, com relação à ordem ou posição dos tratamentos. Por exemplo, avaliar diferentes anúncios de vendas pode ser influenciado se são colocados no início ou no final da sequência. Esse tipo de interferência é chamado de efeito cumulativo (carry-over) (NETTER; WASSERMAN; KUTNER 1990; AFSARINEJAD; HEDAYAT, 2002 ).

Em estudo comparativo entre métodos de análise univariada e multivariada, em um experimento com 22 variedades de cana-de-açúcar, conduzido em blocos casualizados em quatro locais e três cortes sucessivos, em que se analisou dados de porcentagem de fibra, de brix, de pol e da produtividade, verificou-se que para o modelo multivariado o número de diferenças significativas entre médias de tratamentos foi menor que para o univariado, porque o critério de rejeição é mais rigoroso por levar em consideração um nível de significância conjunto, enquanto que no modelo univariado o nível de significância é tomado isoladamente por análise (DEMÉTRIO, 1985).

## 1.1 OBJETIVO

Aplicar o teste de esfericidade de Mauchly para definir qual tipo de análise estatística: univariada (parcelas subdivididas) ou multivariada (medidas repetidas) deve ser aplicado para avaliar o potencial poluidor da fertirrigação com vinhaça na qualidade da água do lençol freático quando são tomadas medidas ao longo do tempo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área situada a 250 metros da sede da Usina Salgado, localizada no município de Ipojuca (coordenadas 07° 10' e 07° 25' S, 39° 10' e 39° 30' W) no estado de Pernambuco, a 53 km da capital. A sede do município de Ipojuca está inserida na zona fisiográfica da

Mata Pernambucana, caracterizando-se por apresentar um clima do tipo Ams', segundo Köppen, tropical chuvoso de monção com verão seco, com estação chuvosa entre os meses de março a agosto. A precipitação anual média na área é de 1 800 mm e a temperatura anual média é de 25,2 °C.

Na área experimental, através de levantamento realizado, foram identificados três classes de solos classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1997) como: ESPODOSSOLO FERRO CÁRBICO (textura arenosa), GLEISSOLO HÁPLICO  $t_b$  (textura argilosa) e GLEISSOLO HÁPLICO  $t_b$  (textura muito argilosa)

O dispositivo experimental utilizado foi composto por uma malha georeferenciada de 30 poços de monitoramento distribuídos em 9 transectos ao longo de uma área de 12 hectares, constituindo três subáreas, sendo duas vegetadas com cana-de-açúcar e outra, central, sem vegetação, local em que ficava a lagoa de estabilização.

A caracterização química da vinhaça "in natura" foi realizada no Laboratório de Análises Agrícolas Ltda – LAGRI, com duas coletas do resíduo, seguindo a metodologia oficial de Brasil (1983). Enquanto os parâmetros ambientais DQO, DBO, CE e SDT foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFPE. Os resultados das análises químicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização físico-química da vinhaça.

Parâmetro	Unidade	Amostras	
		1	2
DQO	mgL <sup>-1</sup>	21.450	21.500
DBO	mgL <sup>-1</sup>	10.000	12.000
Condutividade Elétrica	μS/cm	14.120	13.750
Sólidos Dissolvidos Totais	mgL <sup>-1</sup>	7.940	7690
pH	-	4,5	4,4
Nitrogênio (N)	mgL <sup>-1</sup>	410	440
Fósforo (P)	mgL <sup>-1</sup>	160	140
Potássio (K)	mgL <sup>-1</sup>	3100	3000
Sódio (Na)	mgL <sup>-1</sup>	350	300
Cálcio (Ca)	mgL <sup>-1</sup>	640	560
Magnésio (Mg)	mgL <sup>-1</sup>	340	280
Zinco (Zn)	mgL <sup>-1</sup>	2,4	2,6
Cobre (Cu)	mgL <sup>-1</sup>	2,8	2,0
Ferro (Fe)	mgL <sup>-1</sup>	68	56
Mangânes (Mn)	mgL <sup>-1</sup>	5,0	8,0

A vinhaça foi distribuída na área em estudo a uma taxa de aplicação de 300 m<sup>3</sup>/ha, após o corte da cana-de-açúcar.

Foram realizadas três coletas para avaliar a qualidade da água proveniente do lençol freático. A primeira quando, não se tinha vinhaça na área (03/12/2001), as demais coletas, após a aplicação de vinhaça no 5<sup>o</sup> e 35<sup>o</sup> dias, respectivamente (14/02/2002 e 14/03/2002).

As amostras foram coletadas com o auxílio de uma bomba de vácuo, acondicionadas em garrafas plásticas de dois litros e armazenadas em caixas de isopor com gelo para o transporte e posteriores análises.

As análises de qualidade de água foram realizadas no Laboratório de Sanea-

mento Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco e nos Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Os parâmetros físico-químicos determinados foram: demanda bioquímica de oxigênio (DQO), demanda química de oxigênio (DBO), condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), bicarbonatos (BICAR), cátions solúveis: sódio (NA), potássio (K), cálcio (CA) e magnésio (MG), cloretos (CL), nitrato (NITRA), nitrito (NITRI) e potencial hidrogeniônico (pH). Todos os parâmetros foram determinados segundo o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA, 1995).

Para se verificar se a população possuía variâncias iguais e correlações nulas, aplicou-se o teste de Esfericidade de Mauchly (XAVIER, 2000), em que a hipótese de nulidade foi rejeitada ao nível  $\alpha$  de significância quando:

$$- \gamma \ln W > \chi_{\alpha, f}^2$$

$$W = \frac{(t-1)^{t-1} |CSC'|}{[\text{tr}(CSC')]^{t-1}}$$

em que:

$$\gamma = (gb - g - b + 1) - \frac{2t^2 - 3t + 3}{6(t-1)}$$

$$f = \frac{1}{2}t(t-1) - 1 \text{ graus de liberdade}$$

em que,

- C - matriz dos coeficientes dos contrastes;
- S - matriz de covariâncias;
- t - número de tempos (coletas);
- b - número de repetições;
- g - número de tratamentos;

$\chi_{\alpha, f}^2$  - valor tabelar de qui-quadrado ao nível  $\alpha$  de probabilidade e f graus de liberdade.

A finalidade foi se obter os valores do teste de Mauchly para verificar quais análises estatísticas seriam através de parcelas subdivididas e quais com medidas repetidas.

As análises estatísticas foram realizadas com o software SAS (LITTEL; HENRY; AMMERMAN, 1998; SAS, 1999).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado o teste de Esfericidade de Mauchly para testar a propriedade de simetria composta, que implica na condição de que a variável aleatória seja igualmente correlacionada e tenha variâncias iguais considerando as três coletas. O teste foi aplicado para todas as variáveis estudadas e os resultados foram os que seguem na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores obtidos do Teste de Esfericidade de Mauchly para as diversas variáveis.

Variável	Critério de Mauchly	Qui-Quadrado ( $\chi^2$ )	Pr > $\chi^2$
DQO	0,3949405	14,864321	0,0006
DBO	0,2534276	21,962831	< 0,0001
COND	0,7683841	4,2154483	0,1215 <sup>n.s.</sup>
SDT	0,7687850	4,2071039	0,1220 <sup>n.s.</sup>
BICAR	0,6437561	7,0469668	0,0295
CLORE	0,3620725	16,254575	0,0003
Na	0,2728236	20,782879	< 0,0001
K	0,4053866	14,446627	0,0007
Ca	0,1563144	29,694174	< 0,0001
Mg	0,5923134	8,3795093	0,0152
NITRA	0,7015051	5,6724341	0,0586 <sup>n.s.</sup>
pH	0,6102437	7,9023507	0,0192

n.s. não significativo (aceita-se a hipótese de esfericidade)

Para se verificar se a população possuía variâncias iguais e correlações nulas, aplicou-se o teste de Esfericidade de Mauchly (XAVIER, 2000), em que a hipótese de nulidade foi rejeitada ao nível  $\alpha$  de significância quando:

$$W = \frac{(t-1)^{t-1} |\text{CSC}'|}{[\text{tr}(\text{CSC}')]^{t-1}}$$

em que:

$$\gamma = (gb - g - b + 1) - \frac{2t^2 - 3t + 3}{6(t-1)}$$

$$f = \frac{1}{2} t(t-1) - 1 \text{ graus de liberdade}$$

em que,

- C - matriz dos coeficientes dos contrastes;
- S - matriz de covariâncias;
- t - número de tempos (coletas);
- b - número de repetições;
- g - número de tratamentos;

$\chi_{\alpha,f}^2$  - valor tabelar de qui-quadrado ao nível  $\alpha$  de probabilidade e f graus de liberdade.

A finalidade foi se obter os valores do teste de Mauchly para verificar quais análises estatísticas seriam através de parcelas subdivididas e quais com medidas repetidas.

As análises estatísticas foram realizadas com o software SAS (LITTEL; HENRY; AMMERMAN, 1998; SAS, 1999).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado o teste de Esfericidade de Mauchly para testar a propriedade de simetria composta, que implica na condição de que a variável aleatória seja igualmente correlacionada e tenha variâncias iguais considerando as três coletas. O teste foi aplicado para todas as variáveis estudadas e os resultados foram os que seguem na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores obtidos do Teste de Esfericidade de Mauchly para as diversas variáveis.

Variável	Crítério de Mauchly	Qui-Quadrado ( $\chi^2$ )	Pr > $\chi^2$
DQO	0,3949405	14,864321	0,0006
DBO	0,2534276	21,962831	< 0,0001
COND	0,7683841	4,2154483	0,1215 <sup>n.s.</sup>
SDT	0,7687850	4,2071039	0,1220 <sup>n.s.</sup>
BICAR	0,6437561	7,0469668	0,0295
CLORE	0,3620725	16,254575	0,0003
Na	0,2728236	20,782879	< 0,0001
K	0,4053866	14,446627	0,0007
Ca	0,1563144	29,694174	< 0,0001
Mg	0,5923134	8,3795093	0,0152
NITRA	0,7015051	5,6724341	0,0586 <sup>n.s.</sup>
pH	0,6102437	7,9023507	0,0192

n.s. não significativo (aceita-se a hipótese de esfericidade)

Os resultados para a maioria das variáveis demonstram que a condição de esfericidade foi violada, isto é, que a hipótese de que a distribuição dos dados seja normal com variáveis independentes não-correlacionadas e com variâncias constantes nas três coletas não foi aceita, indicando que a análise da variância usando medidas repetidas deve ser aplicada em tais situações. Nos casos em que a condição de esfericidade foi aceita, isto é, para as variáveis COND, SDT e NITRA a análise de variância utilizada deve ser através do delineamento inteiramente casualizado arranjado em parcelas subdivididas, com os solos na parcela, o tempo e a interação tempo e tratamento na subparcela.

Portanto, o teste de esfericidade de Mauchly para as 12 variáveis consideradas no presente estudo indicou que para: DQO, DBO, BICAR, CLORE, NA, K, CA, MG e pH, a análise estatística correta foi a de medidas repetidas, que confirma a existência de dependência entre as medidas ao longo do tempo.

Para COND, SDT e NITRA a análise através de parcelas subdivididas foi a indicada.

#### 4 CONCLUSÃO

Em estudos em que se tomam medidas de variáveis na mesma unidade amostral ao longo do tempo, o teste de Esfericidade de Mauchly (1940) deve ser efetuado antes de se decidir sobre qual análise estatística deva ser considerada, medidas repetidas ou parcelas subdivididas, pois como foi

constatado no presente estudo, geralmente, existe dependência entre as mensurações ao longo do tempo.

#### REFERÊNCIAS

AFSARINEJAD, K.; HEDAYAT, A.S. Repeated measurements designs for a model with self and simple mixed carryover effects. *Journal of Statistical Planning and Inference*, v.106, n. 1/2, p.449-459, Aug. 2002.

ALMEIDA, J.R. O. problema da vinhaça em São Paulo. *Boletim do Instituto Zimotécnico*, Piracicaba, n. 3, p. 1 – 9, 1952.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19. ed. Washington, D.C: American Public Health Association: American Water Works Association: Water Pollution Control Federation, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais*. Brasília, DF: Laboratório Nacional de Referência Vegetal, 1983. 104p.

CENTURION, R.E.B.; MORAES, V.A.; PERCEBON, C.M; RUIZ, R.T. Destinação final da vinhaça produzida por destilarias autônomas e anexas, enquadradas no Pró-álcool. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., 1989, Fortaleza: ABES, 1989. p. 07.

- COLE, J.W.L.; GRIZZLE, J.E. Applications of multivariate analysis of variance to repeated measurements experiments. *Biometrics*, North Caroline, v. 22, p. 810-828, 1966.
- CORAZZA, R.I. *Reflexões sobre o papel das políticas ambientais e de ciência e tecnologia na modelagem de opções produtivas 'mais limpas' numa perspectiva evolucionista: um estudo sobre o problema da disposição da vinhaça*. Mesa redonda: Instrumentos Econômicos e Políticas Públicas para Gestão Ambiental. In: WORKSHOP "AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E O NOVO AMBIENTE INSTITUCIONAL", 1998, Campinas. Campinas: UNICAMP. Instituto de Economia, 1998.
- DEMÉTRIO, C.G.B. *Análise multidimensional para dados de cana-de-açúcar*. 144 p. Tese (Doutorado) - ESALQ, Piracicaba, 1985.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERNANDEZ, G.C.J. Repeated measures analysis of line-source sprinkler experiments. *HortScience*, v.26, n.4, p.339-342, 1991.
- GIRDEN, E.R. *ANOVA. Repeated measures*. Newbury Park: Sage Publ., 1992. 87 p. (Series: Quantitative Applications in the Social Science).
- GREENHOUSE, S.W.; GEISSER., S. On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, v. 24, n. 2, p. 95-112, 1959.
- HOWELL, D.C. *Multiple comparisons with repeated measures*. 2002. Disponível em: <[http://www.uvm.edu/~dhowell/starpages/more\\_stuff/repmeasmulcomp/repmeasmulcomp.html](http://www.uvm.edu/~dhowell/starpages/more_stuff/repmeasmulcomp/repmeasmulcomp.html)>. Acesso em: 27 mar. 2005.
- KLEINBAUN, D.G. et al. *Applied regression analysis and other multivariable methods*. Pacific Grove: Duxbury Press, 1998. 798p.
- LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; AMMERMAN, C.B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Anim. Sci.*, v. 76, p. 1216-1231, 1998.
- LUDOVICE, M.T.F. *Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático*. 1997. 117 p. Dissertação (Mestrado) - UNICAMP, Campinas, 1997.
- LYRA, M.R.C.C. *Qualidade de águas subterrâneas em solos fertirrigados com vinhaça*. 2002. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2002.
- MAUCHLY, J.W. Significance test for sphericity of normal n-variate distribution. *Annals of Mathematical Statistics*, v.11, p.204-209, 1940.
- MILLIKEN, G.A.; JOHNSON, D.E. *Analysis of messy data v.1 designed experiments*. New York: Chapman e Hall, 1992. 473p.
- NEMEC, A.F.N. *Analysis of repeated measures and time series: an introduction with forestry examples*. Victotia, B.C: Ministry of Forests, 1996. 83 p. (Biometrical Information Handbook, n. 6).

- NETTER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M.H. *Applied linear models: regression, analysis of variance and experimental designs*. 3th ed. Boston: Richard D. Irwin, 1990. 1181 p.
- PERNAMBUCO. Governo do Estado. *Plano diretor da bacia do rio Ipojuca: Diagnósticos e estudos básicos*. Recife, 2000. 225p.
- PIMENTEL GOMES, F. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*, Piracicaba: POTAFOS, 1984. 160 p.
- SANTANA, S. S. Economicidade da aplicação de vinhaça em comparação à adubação mineral. *Álcool e Açúcar*, v. 5, n. 23, p. 1-58, 1985.
- SAS Institute. *Repeated measures analysis of variance*. 1999. Disponível em: <<http://www.id.unizh.ch/software/unix/statmath/sas/sasdoc/stat/chap30/sect41.htm>>. Acesso em: 03 fev. 2005.
- SINGER J.M.; ANDRADE, D.F. Análise de dados longitudinais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 7., 1986, Campinas. Campinas, 1986.
- SOUZA, C.M. de. *Avaliação do crescimento em altura de leucena *Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit., no Agreste de Pernambuco, por meio da análise multivariada de medidas repetidas*. 2003. 122 p. Dissertação (Mestrado em Biometria) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2003.
- STUKER. H. *Análise multivariada para dados onde a característica observada é subdividida em k classes*. 1986. 92 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ, Piracicaba, 1986.
- VIEIRA, D.B. *As técnicas de irrigação*. Rio de Janeiro: Globo, 1983. 263p.
- VONESH, F.E.; CHINCHILLI, V.M. *Linear and nonlinear models for the analysis of repeated measurements*. New York: Marcel Dekker, 1997. 560 p.
- WINER, B.J. *Statistical principles in experimental designs*. 2nd ed. New York; McGraw-Hill, 1971. 907 p.
- XAVIER, L.H. *Modelos univariado e multivariado para análise de medidas repetidas e verificação da acurácia do modelo univariado por meio de simulação*. 2000. 91 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ, Piracicaba, 2000.
- \_\_\_\_\_; DIAS. C.T.S. Acurácia do modelo univariado para análise de medidas repetidas por simulação multidimensional. *Sci. Agric.*, v.58, n.2, p.241-250, 2001.