

## Variabilidade espacial dos teores de fósforo e potássio em relevo ondulado sob cafeeiro conilon<sup>(1)</sup>.

**Carlos Eduardo de Oliveira Roberto<sup>(2)</sup>; Tamiris Oliveira Rodrigues<sup>(2)</sup>; Fúlvia Maria dos Santos<sup>(3)</sup>; Jamilli A. Salume<sup>(2)</sup>; Renato Ribeiro Passos<sup>(4)</sup>; Diego Lang Burak<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos de Programa Nacional de Pós-Doutorado – CAPES/PNPD.

<sup>(2)</sup> Graduandos em Agronomia, Iniciação Científica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES); <sup>(3)</sup> Pesquisadora CAPES do Departamento de Produção Vegetal CCA-UFES; <sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, Alegre, ES. renatoribeirypassos@hotmail.com; dlburak@hotmail.com

**RESUMO:** No sul do estado do Espírito Santo as lavouras de café conilon estão localizadas em sua maioria em relevo ondulado sendo importante o conhecimento da influência do relevo nos teores de nutrientes no solo com indicadores da qualidade química do solo. O objetivo do presente projeto foi avaliar a variabilidade espacial dos teores de P e K. O experimento foi conduzido no distrito de Pacotuba, sul do estado do Espírito Santo. Foram obtidas amostras compostas em duas profundidades (0 a 10 cm e 10 a 20 cm). Após a coleta das amostras e preparo da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Realizaram-se extrações com o extrator Mehlich-1. Mapas de semivariogramas foram obtidos com informações dos atributos primários do relevo gerados, avaliando-se o topographic wetness index (WETIND). Conclui-se que para área estudada, a estatística clássica pode ser aplicada de forma satisfatória para interpretação dos teores de P e os teores de K podem ser utilizados dentro do contexto da geoestatística para melhor separação das zonas homogêneas nas quais existem diferentes necessidades de nutrientes pelo cafeeiro.

**Termos de indexação:** Geoestatística, fertilidade do solo, *Coffea canephora* Pierre.

### INTRODUÇÃO

O estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do país, sendo que o café conilon detém mais de 65% do seu parque cafeeiro (Silva e Costa, 1995). Contudo, o uso de indicadores de qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental em áreas utilizadas com cafeeiro conilon é relativamente escasso na região sul do estado do Espírito Santo, apesar da grande importância dessa cultura. Em áreas de maior declividade eventos de erosão são mais acentuados em épocas de maior pluviosidade, resultando em distribuições espaciais diferenciadas nessas diferentes épocas (Ferrão et al., 2004).

Diferentes agros e ecossistemas podem apresentar diferentes atributos que melhor refletem a qualidade do solo. Portanto, para avaliá-los e equacioná-los quanto ao grau de importância na sustentabilidade agrícola, devem ser consideradas as múltiplas funções do solo, e suas variações no espaço e no tempo (Larson & Pierce, 1994). Nesse contexto pode-se utilizar estatística espacial para o conhecimento da variabilidade e da estrutura espacial dos atributos do solo. Com a avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo e a possibilidade de confecção de mapas geoestatísticos, obtém-se uma visão da variação dos atributos no relevo de forma a melhor interpretá-los.

Objetivou-se nesse trabalho, compreender a variação no espaço de atributos químicos de solos sob cultura de café conilon (*Coffea canephora*) e sua relação com o relevo da região.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Bananal do Norte, pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizada no distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas: 20° 45' 17,31" de Latitude Sul e 41° 17' 8,86" de Longitude Oeste de Greenwich com altitude média de 113 metros.

Foram coletadas 109 amostras na profundidade de 0-10 e 10-20 cm em agosto de 2012 (inverno). Após a coleta das amostras e preparo da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), todas as análises foram processadas nos Laboratórios de Física e de Química do Solo do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

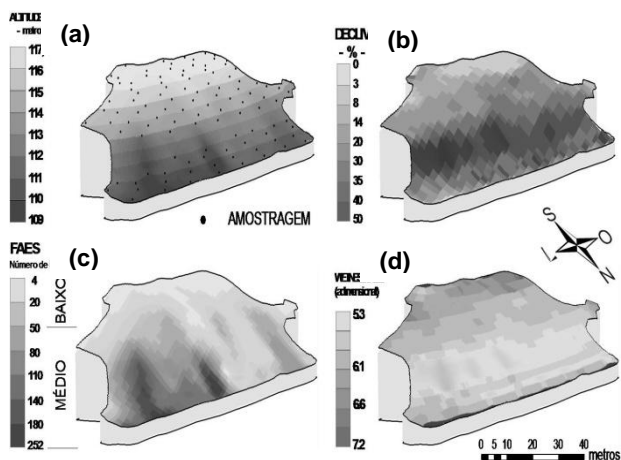
### Análise química

Realizaram-se extrações com o extrator Mehlich-1, seguindo o método proposto pela EMBRAPA (1997). Para tanto foi utilizada uma

amostra de 10 cm<sup>3</sup> de TFSA, que posteriormente foi colocada em um erlenmeyer juntamente com 100 mL do extrator Mehlich-1. Após 5 minutos de agitação em agitador horizontal, uma alíquota de 20 mL foi retirada para determinação do fósforo por colorimetria. O potássio foi determinado por espectroscopia de emissão de chama.

### Modelo Digital de Elevação (MDE)

Com os dados da altitude e das curvas de nível foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir do MDE extraíram-se planos de informação da declividade e do fluxo acumulado do escoamento superficial (**Figura 1**). O MDE, produzido a partir de curvas de nível com intervalo de 1 metro, com interpolação das curvas de nível feita em uma estrutura de grade triangular, com formato TIN (Triangulated Irregular Network). Realizado no programa ArcGIS 9.0 com a ferramenta 3D Analyst. Posteriormente o MDE foi transformado para o formato raster, com tamanho de células (ou pixels) de 2 metros (**Figura 1a**). A partir do MDE raster foram extraídos os planos de informação da declividade em porcentagem (**Figura 1c**) e do fluxo acumulado do escoamento superficial (**Figura 1b**). Com informações dos atributos primários do relevo gerados avaliou-se o topographic wetness index (WETIND), atributo secundário do relevo calculado a partir da área de contribuição específica de cada pixels e sua declividade conforme desenvolvido por Beven & Kirkby (1979). Segundo esses autores, tal índice consegue descrever de forma satisfatória a tendência de um pixel em acumular água e, conseqüentemente, em indicar regiões com maior umidade do solo.



**Figura 1** - Modelo Digital de Elevação com altitude (a), declividade (DECLIV) (b), fluxo acumulado do escoamento superficial da área de estudo (FAES) (c) separado em classes de baixo e médio fluxo, segundo Portes (2008), e topographic wetness index (WETIND) (d).

### Análise estatística

Com os valores representativos dos pontos georreferenciados, foram feitas análises estatísticas descritivas e correlações de Pearson entre os atributos químicos e os parâmetros morfométricos extraídos do Modelo Digital de Elevação da área estudada. Os dados foram analisados dentro do domínio da estatística espacial, com a confecção de semivariogramas e a avaliação da estrutura espacial. Com parâmetros dos semivariogramas, utilizar-se-á o método da krigagem ordinária para interpolação das variáveis gerando mapas geoestatísticos dos atributos químicos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva das extrações de Mellich-1 são apresentados na **Tabela 1**. A avaliação da variabilidade dos atributos, medida pelo coeficiente de variação (CV) foi baseada nos limites propostos por Warrick & Nielsen (1980), para classificação de atributos do solo, que consideram: variabilidade baixa (CV < 12 %); média (12% < CV < 60 %) e alta (CV > 60 %). Analisando os resultados de coeficientes de variação (CV) é possível observar os atributos K e P apresentaram alta variabilidade, indicando acentuada assimetria afastando-se de uma distribuição normal, como observado por outros autores para dados obtidos da natureza (Carvalho et al., 2003; Cambardella et al., 1994).

Os atributos P e K nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm apresentaram coeficientes de assimetria e curtose distantes de zero caracterizando uma distribuição mais assimétrica dos dados. Segundo Webster e Oliver (2007), um coeficiente de assimetria dos dados entre os valores de 0 e 0,5 não indica a necessidade de transformação, um coeficiente entre 0,5 e 1,0 a transformação em raiz quadrada é a mais recomendável e um coeficiente maior que 1,0, se faz necessário a transformação logarítmica dos dados.

Contudo, deve-se destacar que a geoestatística não exige distribuição normal dos dados para ser aplicada. Se houver normalidade, as inferências realizadas ganharão outras propriedades estatísticas ótimas, tal como a máxima verossimilhança (Cressie, 1993), o que seria interessante no ajuste de modelos não lineares dos semivariogramas teóricos. As transformações dos dados tornam os semivariogramas mais robustos e melhores estimativas são obtidas na krigagem (Goovaerts, 1997).

**Tabela 1** - Sumário das estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo.

Var	Média	Mín	Máx	CV%	Cs	Ck
Profundidade 0-10 cm						
P*	16,97	0,33	77,93	75,95	1,95	6,28
K*	151,02	36,00	894,00	61,07	5,32	40,27
Profundidade 10-20 cm						
P*	14,12	0,50	63,18	67,65	1,66	5,22
K*	83,70	16,00	524,00	68,73	4,46	31,65

\*mg Kg<sup>-1</sup>. Mín- mínimo; Máx- máximo; s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Cs- coeficiente de assimetria; Ck- coeficiente de curtose.

Os resultados das análises de Correlação de Pearson (**Tabela 2**) demonstram que os parâmetros geomorfológicos do solo analisados possuem fraca correlação com os atributos químicos. Isto indica que o relevo teve papel menos importante na variabilidade total dos atributos químicos avaliados, com exceção do K que apresentou correlação positiva com altitude.

**Tabela 2** - Análises de correlações de Pearson<sup>(1)</sup> das variáveis estudadas a e os parâmetros geomorfológicos

	ALTITUDE	FLUXO	DECLIVE	WETNESS
Profundidade 0-10 cm				
P*	-0,14	0,11	0,09	-0,08
K*	0,14	-0,04	0,02	-0,03
Profundidade 10-20 cm				
P*	-0,06	0,19	0,05	-0,01
K*	<b>0,33</b>	-0,20	-0,17	0,02

\* mg dm<sup>-3</sup>. <sup>(1)</sup>Valores em negrito são significativos a 1% de probabilidade

O movimento horizontal de nutrientes via escoamento superficial é facilitado em maior declive uma vez que a calagem e adubação são aplicadas sem incorporação ao solo, resultando em maior saturação de sítios de troca/adsorção em camadas superficiais, facilitando a presença desses nutrientes em solução e o seu transporte via escoamento superficial. Segundo McDowell et al. (2001), a diminuição das doses aplicadas de nutrientes via adubação e calagem pode constituir um fator importante para a menor perda de nutrientes pelo escoamento superficial e, de fato, os autores concluem que tal diminuição associada a práticas mecânicas são as mais eficientes. Na profundidade de 10-20 cm, observou-se correlação

positiva do K com a altitude, demonstrando o menor efeito do escoamento superficial em subsuperfície. O fluxo acumulado do escoamento superficial e o "wetness index" não apresentaram relação com os atributos químicos.

A distribuição espacial dos teores de K indica que em locais de maior altitude e menor declividade ocorrem maiores teores de K (**Figuras 1 e 2**) devido à menor influência do escoamento superficial. Na profundidade de 0-10 cm, os teores de K na maior parte da área podem ser enquadrados nas classes de alta fertilidade (120-200 mg/dm<sup>3</sup>). Adicionalmente os locais em menor altitude e maior declive são encontrados maiores teores de areia grossa (dados não apresentados). Isso demonstra que mesmo com a aplicação anual de K em toda a área estudada, via adubação, ele se redistribui mais facilmente na paisagem tanto pela maior mobilidade do K no solo como pela fraca relação com a areia grossa e pelo maior efeito da movimentação lateral em locais de maior declive, gerando zonas homogêneas mais bem definidas em comparação aos teores de P. Silva et al. (2010) encontraram correlação negativa entre teor de K e areia grossa em região cultivada sobre Latossolo.

O P não apresentou dependência espacial na profundidade de 0-10 cm, utilizando-se o inverso do quadrado da distância para interpolação em locais não amostrados (**Figura 2**). Esse fato pode estar relacionado a menor mobilidade o P, tornando-o menos redistribuído em função do relevo, diminuindo a variabilidade espacialmente estruturada e aumentando a variabilidade aleatória. A maior parte pode ser enquadrada com média e alta fertilidade (7-10 e >10 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente), segundo Prezotti et al. (2007).

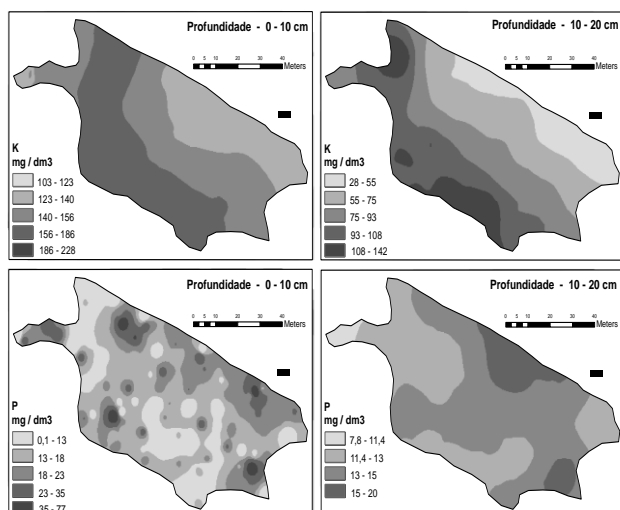
De forma geral, houve tendência de maiores teores de P ocorrerem nos locais de menor altitude e maior declive. Conforme discutido anteriormente, nesses locais os teores de areia são maiores sugerindo uma tendência de aumento da disponibilidade de P com maiores teores de areia grossa e diminuição com maiores teores de argila, uma vez que a sua retenção torna-se mais fraca e disponibilização mais fácil com a diminuição do teor de argila (Machado et al., 2011).

## CONCLUSÕES

Os teores de P devido à adubação realizada no final de maio e ao menor carreamento de nutrientes, torna a variabilidade aleatória mais importante que a variabilidade espacialmente estruturada.

Na área estudada, a estatística clássica pode ser aplicada de forma satisfatória para interpretação dos

teores de P e os teores de K podem ser utilizados dentro do contexto da geoestatística para melhor separação das zonas homogêneas nas quais existem diferentes necessidades de nutrientes pelo cafeeiro.



**Figura 2** - Distribuição espacial dos atributos químicos estudados na profundidade de 0-10 cm e de 10-20 cm. Os valores foram interpolados por meio da krigagem ordinária e do inverso do quadrado da distância.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), CAPES, CNPq e Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES).

## REFERÊNCIAS

BEVEN, K. J. & KIRKBY, M. J.: A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Sci. Bull.*, 24, 43–69, 1979.

CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M. et al. Field-scale variability of soils properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* v.58, 1501-1511, 1994.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.695-703, 2003.

GRESSIE, N. A. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley & Sons, 1993. 900p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G. et al. *Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas*. Vitória: INCAPER, 2004. 60p. (Circular técnica 03-1).

GOOVAERTS, P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford Univ. Press, New York, NY. 1997. 483p.

LARSON, W. E. & PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W., COLEMAN, D.C. BEZDICEK, D. F. et al. (Eds) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. *Soil. Sci. Soc. Am. Spec. Pub.*, v.35, p.37-52, 1994.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B. et al. Curvas de disponibilidade de P em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Bioscience Journal*, v.27, p.70, 2011.

McDOWELL, R.W.; SHARPLEY, A.N.; CONDRON, L.M. et al. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.59, p.269-284, 2001.

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G. et al. *Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo*. 5.<sup>a</sup> aproximação. Vitória: SEEA/ INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

SILVA, A.E.S. & COSTA, E.B. Importância econômica e social. In: *Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo*. Vitória: Secretaria de Estado de Agricultura, 1995. p. 9-10.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.15-22, 2010.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York : Academic, 1980.

WEBSTER, R. & OLIVER M.A. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Second Edition. Wiley, Chichester, 325p. 2007.