

## VARIABILIDADE ESPACIAL DAS FRAÇÕES TEXTURAIS E DA POROSIDADE DO SOLO EM RELEVO ONDULADO SOB CULTIVO DE CAFÉ CONILON

Diego Lang Burak<sup>1</sup>, Renato Ribeiro Passos<sup>2</sup>

1. Professor Adjunto I do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (dlburak@hotmail.com)
2. Professor Adjunto III do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo

Data de recebimento: 02/05/2011 - Data de aprovação: 31/05/2011

### RESUMO

Objetivando relacionar e avaliar a distribuição espacial de alguns atributos físicos do solo com o relevo, foram realizadas análises estatísticas e geoestatísticas dos teores de areia grossa, areia fina, silte e argila, assim como da porosidade total, macroporosidade e microporosidade em 104 amostras georreferenciadas em uma área de 0,6 ha. Somente as frações areia grossa, argila, porosidade total e macroporosidade apresentaram dependência espacial possibilitando a interpolação pela krigagem ordinária. A partir dos resultados pôde-se observar que o relevo influenciou na distribuição dos atributos físicos do solo (areia grossa, argila, porosidade total e macroporosidade). Regiões de maior estabilidade, ou seja, de menor fluxo do escoamento superficial e de menor declividade, apresentaram maiores teores de argila e menores valores de macroporosidade. Em contrapartida, nas regiões onde o fluxo acumulado do escoamento superficial e a declividade foram mais elevados, foram observados maiores teores da fração areia grossa e macroporosidade. Esse fato está relacionado à maior perda de argila, mais facilmente transportada, e ao enriquecimento residual da areia grossa, que ocorrem principalmente na parte inferior do segmento da paisagem estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise geoestatística, propriedades físicas do solo, geomorfologia.

### SPATIAL VARIABILITY OF PARTICLE SIZE FRACTIONS AND SOIL POROSITY IN HILLY RELIEF CULTIVED WITH CONILON COFFEE

#### ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the spatial distribution of some physical attributes as related to the relief. For that, we analyzed coarse sand, fine sand, silt and clay fractions as well as total porosity, macroporosity and microporosity in 104 georeferenced samples in an area of 0,6 ha. The dataset obtained was evaluated by statistical and geostatistical analysis. The coarse sand and clay fractions, total porosity and macroporosity were spatially dependent allowing interpolation by ordinary kriging. From the results we observed that the landscape influences the distribution of soil physical properties (sand, clay, total porosity and macroporosity). Geomorphologic stables local, i.e., less flow of runoff and lower slopes, showed higher levels of clay and smaller values of macroporosity. By contrast, in regions where the cumulative flow of runoff and the slope were higher, there were higher levels of coarse sand fraction and macroporosity. This fact is related to higher loss of

clay, more easily transported, and the enrichment of residual coarse sand that occur mainly in the lower segment of the area studied.

**KEYWORDS:** Geoestatistical analysis, soil physical properties, geomorphology

## INTRODUÇÃO

A dinâmica da água em superfície e em sub-superfície condiciona a variabilidade dos atributos químicos, físicos, biológicos e mineralógicos no solo (BLASZCZYNSKI, 1997). Nesse sentido, o estudo das formas do relevo que influenciam os fluxos de água torna-se interessante para melhor compreensão da variabilidade espacial dos atributos do solo. Ademais, segundo MARQUES JÚNIOR & LEPSCH (2000) a utilização da altitude, declividade e formas da paisagem do solo para delinear zonas de manejo são complementares para o entendimento da variabilidade espacial dos atributos do solo.

A produção de mapas de distribuição espacial dos atributos do solo por meio da predição dos seus valores pode ser feita por meio de diferentes métodos de interpolação, sendo os geoestatísticos mais eficientes uma vez que levam em consideração pressuposições probabilísticas do fenômeno regionalizado (GOOVAERTS, 1997). Contudo, informações sobre o relevo tais como altitude, declividade e fluxo do escoamento superficial acumulado são importantes para complementação das informações geradas pela geoestatística (McBRATNEY et al., 2003). Nesse sentido, a análise de terrenos pela a descrição numérica contínua de uma superfície geomórfica pode ser alcançada eficientemente pela parametrização das feições do relevo (WOOD, 2000).

De acordo com BLASZCZYNSKI (1997), essa quantificação da superfície da terra é essencial para a avaliação da influência da forma do terreno no fluxo de água, no transporte de sedimentos, na natureza e distribuição de habitats de plantas e animais, expressando ainda resultados de processos geológicos e geomorfológicos que atuam na formação de uma paisagem.

O cafeeiro conilon, apesar da grande importância para o sul do estado do Espírito Santo, é cultivado em sua maior parte em propriedades de agricultura familiar, com baixa aplicação de insumos agrícolas e práticas de manejo de menor sustentabilidade agrícola que, adicionalmente, são estabelecidas em regiões de maior declividade (MATIELLO, 1998). Água, oxigênio, temperatura e resistência mecânica à penetração são fatores que estão fortemente relacionados à produtividade das plantas, sendo eles relacionados aos atributos físicos do solo que são sujeitos a alterações em função do relevo. Como a modernização da agricultura tem como ênfase a otimização dos recursos de produção, o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos que influenciam a fertilidade torna-se uma ferramenta imprescindível para detecção de zonas nas quais diferentes tipos de manejo devem ser direcionados (SOUZA et al, 2004).

## OBJETIVO

Partindo da premissa de que o relevo pode influenciar os atributos físicos dentro de um pequeno segmento da paisagem com mesma classe de solo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade espacial das frações

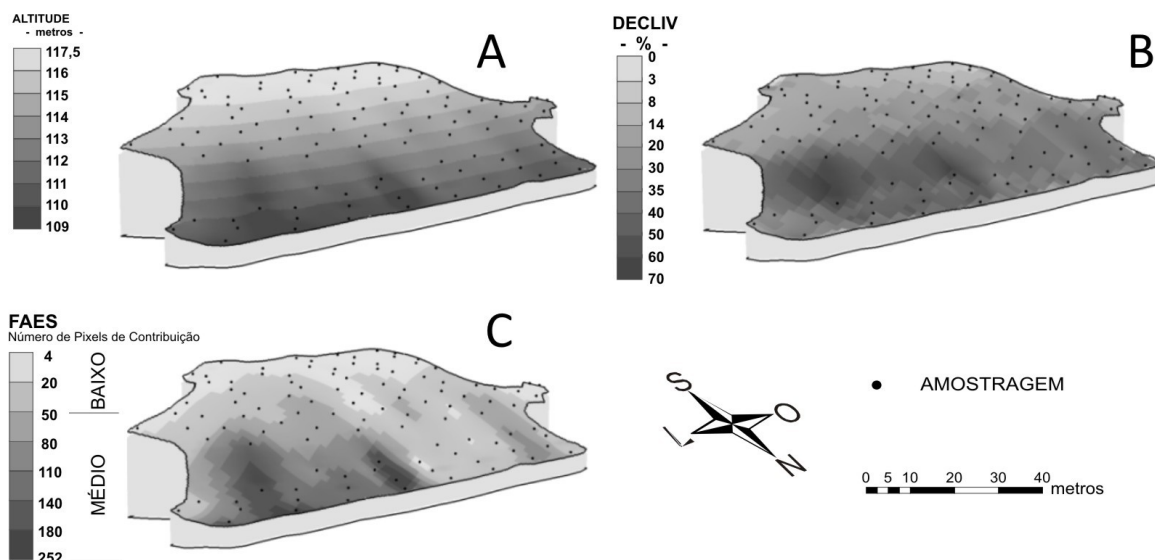
granulométricas do solo, da porosidade total, macroporosidade e microporosidade em função do relevo em um segmento da paisagem de 0,6 ha.

## METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se 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.

A área está inserida dentro do domínio morfoclimático de Mares de Morro, segundo AB'SABER (1977), sobre um embasamento geológico de granito-gnaiss. O solo representativo da região foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura argilosa. Foram coletados 104 pontos georreferenciados nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, totalizando 208 amostras. A área encontra-se sob lavoura de café da espécie *Coffea canephora* Pierre, var. Robusta Tropical – 'Emcaper 8151', implantada em 1999, sendo o manejo realizado sem maquinário agrícola.

Para melhor visualização das formas do relevo da área foram avaliados a declividade, o fluxo acumulado do escoamento superficial e o Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 1). O MDE foi produzido a partir de curvas de nível com intervalo de um metro. A interpolação das curvas de nível foi feita em uma estrutura de grade triangular, formando um MDE de formato TIN (Triangulated Irregular Network), sendo todo o procedimento realizado no programa ArcGIS 9.0 (ESRI, 2001) com a ferramenta 3D Analyst. Posteriormente o MDE foi transformado para o formato raster, com tamanho de células (ou pixels) de dois metros (Figura 1a).



**FIGURA 1.** Modelo Digital de Elevação (a), Declividade (b) e Fluxo acumulado do escoamento superficial (FAES) da área de estudo (c). (Fonte: Burak et al., 2010)

A partir do MDE, foi gerado um plano de informação da direção de fluxo, a partir da qual se pôde obter o fluxo acumulado do escoamento superficial (Figura 1C). Neste plano de informação, as células (pixels representativos de parcelas de 2 x 2 m na área) correspondentes ao fluxo acumulado são geradas a partir dos vetores da direção de fluxo de modo que o valor referente a uma célula dependerá da convergência dos vetores da direção de fluxo das células circunvizinhas. Este método de derivação do escoamento superficial acumulado a partir de um modelo digital de elevação é apresentado por JENSON & DOMINGUE (1988).

As amostras, após coletadas em campo com o auxílio de pá reta, foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Determinaram-se as proporções, em %, de areia grossa, areia fina, silte e argila total, em cada amostra de solo conforme método da EMBRAPA (1997) com algumas modificações, tais como a utilização de agitação lenta e de esferas na agitação. Para isso, foi utilizado 10 g de TFSA, 50 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, com agitação mecânica lenta (175 rpm) por 12 horas com 10 esferas de aço de diâmetro de 4 mm. As frações de areia grossa e areia fina foram separadas, via peneiramento, utilizando, respectivamente, peneiras de malha 0,210 e 0,053 mm. As frações argila e silte, que englobam partículas com tamanho inferior a 0,053 mm, foram separadas por sedimentação, segundo a lei de Stokes.

A porosidade total calculada (Pt), ou seja, o volume de vazios totais do solo que pode estar ocupado por água e/ou ar, foi obtida indiretamente através da relação existente entre a densidade do solo (Ds) e a densidade de partículas (Dp) de acordo com EMBRAPA (1997), conforme a equação:  $Pt = (Dp - Ds)/Dp$ . Para avaliação da densidade do solo (Ds), foram utilizadas amostras indeformadas retiradas em anel de aço de bordas cortantes (EMBRAPA, 1997), introduzidos no solo com auxílio do amostrador tipo Uhland até o preenchimento total do anel às profundidades desejadas de 0-10 e 10-20 cm. A densidade de partículas (Dp) foi obtida pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Com os resultados dos atributos físicos avaliados, foram feitas análises descritivas dos dados (média, mínimo, máximo, desvio-padrão). Os coeficientes de assimetria e curtose auxiliaram na avaliação da distribuição normal dos dados. Comparou-se a diferença dos teores das frações granulométricas entre a camada de 0-10 e 10-20 cm pelo teste t para amostras relacionadas (RIBEIRO JUNIOR, 2001). O teste Kolmororov-Smirnov (K-S) foi utilizado para avaliação da distribuição normal dos dados.

Após análise descritiva dos dados, avaliou-se a dependência espacial entre as amostras georreferenciadas por meio do ajuste dos semivariogramas experimentais aos modelos; gaussiano, exponencial e esférico. Para avaliação dos modelos teóricos utilizou-se a validação cruzada, que se baseiam em menores valores da média do erro reduzido e valores da variância do erro reduzido mais próximos a um para indicar os modelos com melhores ajustes (GOOVAERTS, 1997). Adicionalmente utilizaram-se os valores do r<sup>2</sup> da validação cruzada, ou seja, o valor do coeficiente de determinação entre valores medidos e valores estimados. Esse procedimento auxiliou na escolha entre os modelos teóricos mais bem ajustados pela avaliação da validação cruzada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios, máximos e mínimos da fração areia grossa foram maiores na profundidade 0-10 cm (Tabela 1), conforme corroborado pelo teste t significativo a  $p < 0,05$ . Já os teores de areia fina e silte não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as duas profundidades. Na profundidade de 10-20 cm os teores de argila são maiores que os da profundidade de 0-10 cm. A diferença média entre profundidades foi significativa ( $p < 0,05$ ) conforme observado pelo teste t para os teores de argila. Pelos valores de assimetria, curtose e pelos resultados do teste K-S, pôde-se inferir que os teores de areia fina (10-20 cm), silte (0-10 e 10-20 cm) e argila (0-10 cm) não apresentaram uma distribuição normal dos dados. Esses atributos foram transformados valores logarítmicos para a avaliação pela geoestatística.

Analisando os resultados com a estatística espacial, por meio da análise dos modelos teóricos ajustados e valores significativos do coeficiente de correlação de Pearson, pôde-se observar a existência da dependência espacial somente para os atributos areia grossa e argila das profundidades 0-10 e 10-20 cm, assim como para a porosidade total e macroporosidade. As demais variáveis não apresentaram dependência espacial, sendo elas ajustadas ao modelo efeito pepita puro (EPP) (Tabela 2).

**TABELA 1.** Análise descritiva (média, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão) para os atributos do solo: areia grossa (AG), areia fina (AF), silte, argila, porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm e o resultado do teste t <sup>(1)</sup>

Variável	Prof. (cm)	Média <sup>(1)</sup>	Mínimo	Máximo	CV %	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose	d K-S
AG (%)	0 – 10	32,14 <b>a</b>	21,58	43,63	14,0	4,50	0,24	-0,01	0,071 <sup>n.s</sup>
	10 - 20	30,10 <b>b</b>	16,30	41,03	14,1	4,70	-0,21	0,44	0,079 <sup>n.s</sup>
AF (%)	0 – 10	11,85 <b>a</b>	8,42	16,92	54,6	1,67	0,33	-0,07	0,037 <sup>n.s</sup>
	10 - 20	11,60 <b>a</b>	7,50	15,01	9,8	1,41	-0,02	0,08	0,068 <sup>n.s</sup>
Silte (%)	0 – 10	5,45 <b>a</b>	0,42	13,84	15,6	2,97	1,17	0,85	0,182 <sup>p&lt;0,05</sup>
	10 - 20	5,81 <b>a</b>	0,40	26,81	12,2	4,65	2,30	6,09	0,237 <sup>p&lt;0,05</sup>
Argila (%)	0 – 10	50,59 <b>a</b>	35,82	62,15	47,6	4,95	-0,44	0,70	0,101 <sup>p&lt;0,05</sup>
	10 - 20	52,40 <b>b</b>	30,36	73,36	12,8	6,71	-0,38	1,57	0,062 <sup>n.s</sup>
Pt (%)	0 – 10	50,98 <b>a</b>	43,97	57,25	5,5	2,87	-0,03	-0,45	0,056 <sup>n.s</sup>
	10 - 20	51,67 <b>a</b>	40,61	63,30	5,6	3,59	0,06	1,04	0,042 <sup>n.s</sup>
Mi (%)	0 – 10	26,07 <b>a</b>	17,62	35,64	7,0	2,27	-0,18	4,52	0,087 <sup>n.s</sup>
	10 - 20	26,28 <b>a</b>	14,66	36,08	8,7	2,63	-0,72	6,07	0,981 <sup>n.s</sup>
Ma (%)	0 – 10	24,94 <b>a</b>	16,38	33,69	10,0	3,45	0,24	0,24	0,084 <sup>n.s</sup>
	10 - 20	25,45 <b>a</b>	14,75	37,18	13,8	4,56	0,05	-0,24	0,041 <sup>n.s</sup>

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras diferentes em uma mesma linha apresentam diferença média entre profundidades significativa a 5% de probabilidade (pelo teste t para amostras relacionadas).

Todos os modelos teóricos apresentaram um ajuste adequado aos semivariogramas experimentais, como mostrado pelos valores das variâncias do erro reduzido próximos a um e valores da média do erro reduzido próximos à zero (GOOVAERTS, 1997). Somente as variáveis com valores significativos do coeficiente de correlação de Pearson entre os valores calculados e observados foram apresentados.

O efeito pepita ( $C_0$ ) significa, em alguns casos, que existe descontinuidade entre valores separados por distâncias menores do que o usado na escala de amostragem, ou então, as variações aleatórias são importantes na região (GOOVAERTS, 1997). O efeito pepita foi analisado por meio de sua percentagem no patamar com o objetivo de avaliar o grau de dependência espacial (CAMPARDELLA et al., 1994) (Tabela 2). Somente os teores de argila na profundidade de 0-10 cm apresentaram um alto grau de dependência espacial (<25%). Os demais atributos estudados apresentaram um grau moderado de dependência espacial (entre 25% e 75%). O alcance informa até qual distância existe dependência espacial. Ao ultrapassá-la considera-se a existência da independência estatística entre amostras. Os atributos areia fina e silte das profundidades 0-10 e 10-20 cm e a microporosidade ajustaram ao EPP, permitindo inferir que a variabilidade aleatória se sobressaiu à variabilidade estruturalmente espacializada ou devido ao esquema de amostragem utilizado que não foi satisfatório para a avaliação da estrutura espacial desses atributos. Já as variáveis porosidade total, macroporosidade, areia grossa e argila apresentaram valores de alcance entre 95,6 e 6,46 metros, valores maiores que a distância média entre amostras (3,5 metros) (Tabela 2).

**TABELA 2.** Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos do solo: areia grossa (AG), areia fina (AF), silte, argila, porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm e resultados da validação cruzada.

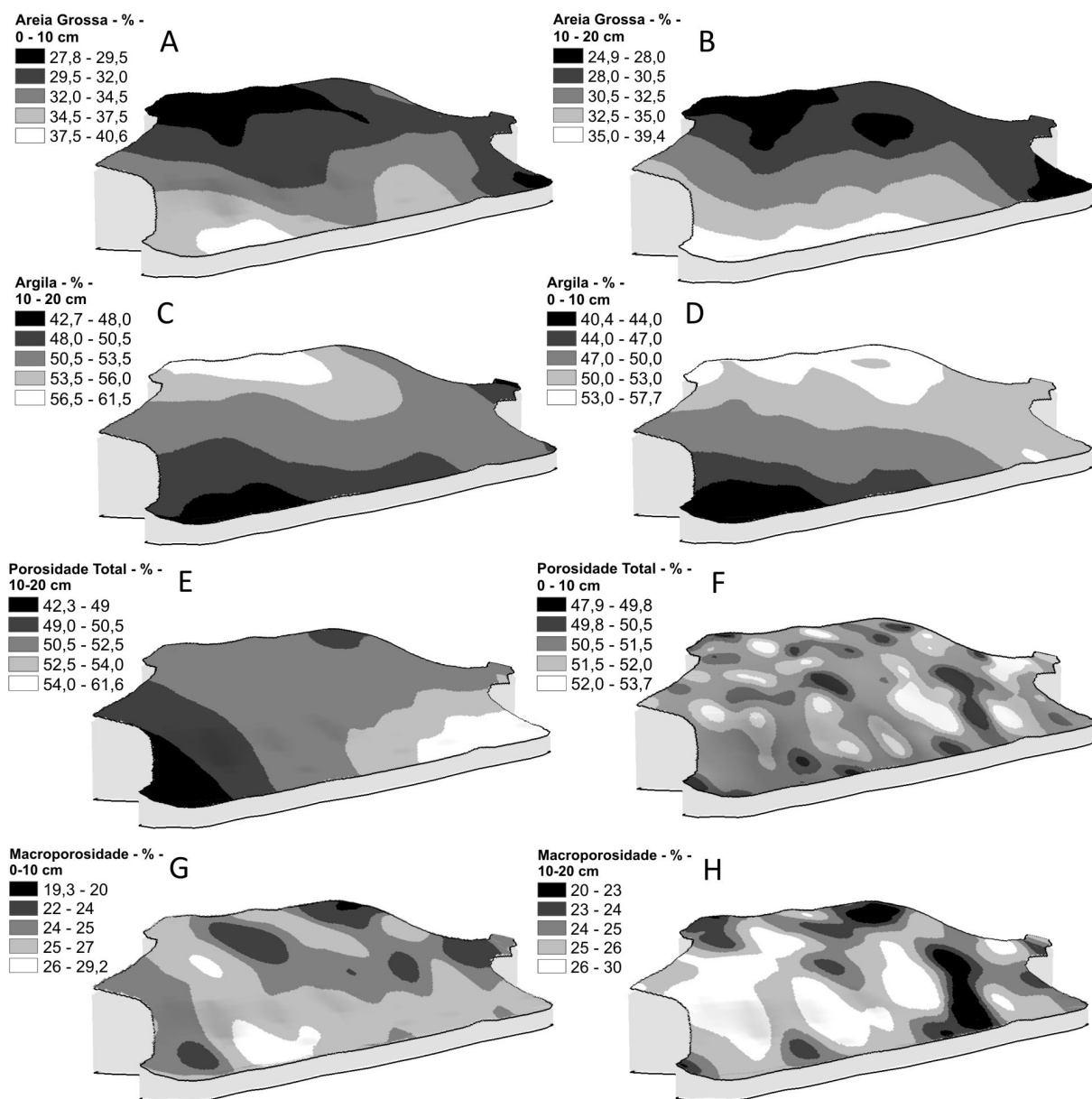
Var.	Prof. (cm)	Modelo <sup>(4)</sup>	Parâmetros <sup>(1)</sup>					Validação Cruzada <sup>(3)</sup>			
			$C_0$	$C_0 + C_1$	$C_0/(C_0 + C_1)^{(2)}$	a	$R^2$	Variância	Média	$r^2$	
AG	0 - 10	GAUS	10,400	23,230	44,8	47,11	0,90	0,002	1,004	0,45**	
	10 - 20	ESF	12,400	24,810	50,0	45,90	0,85	0,001	1,067	0,26**	
AF	0 - 10	EPP	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,13 <sup>ns</sup>	
	10 - 20	EPP	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,19 <sup>ns</sup>	
Silte	0 - 10	EPP	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,09 <sup>ns</sup>	
	10 - 20	EPP	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,17 <sup>ns</sup>	
Argila	0 - 10	ESF	9,280	36,630	25,3	95,60	0,92	0,001	1,086	0,37**	
	10 - 20	EXP	24,890	49,790	50,0	56,10	0,86	0,006	1,087	0,27**	
Pt	0 - 10	ESF	4,150	7,885	52,6	6,46	0,81	0,043	0,987	0,53**	
	10 - 20	ESF	4,970	13,790	36,0	8,98	0,90	0,006	0,997	0,34**	
Mi	0 - 10	EPP	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,16 <sup>ns</sup>	
	10 - 20	EPP	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,10 <sup>ns</sup>	
Ma	0 - 10	EXP	5,000	11,890	42,1	15,57	0,89	0,006	0,961	0,62**	
	10 - 20	EXP	8,138	21,309	38,2	12,11	0,91	0,004	1,031	0,23**	

<sup>(1)</sup> $C_0$  = efeito pepita;  $C_0+C_1$ = patamar; a = alcance; <sup>(2)</sup> Grau de dependência espacial em percentagem, sendo classificado em: <25% = forte; entre 25 e 75 % = moderada e > 75% = fraca (Cambardella et al, 1994); <sup>(3)</sup> Validação cruzada feita com a média do erro reduzido e a variância do erro reduzido (GOOVAERTS, 1997) e valores dos coeficiente de correlação dos valores medidos versus os valores preditos pela krigagem sendo os valores com \*\* significativos a 5% de probabilidade e \* a 1\* de probabilidade. <sup>(4)</sup> EXP=exponencial, ESF=esférico, EPP=Efeito pepita puro e GAUS=gaussiano

Foi encontrado um padrão diferenciado de distribuição espacial dos atributos areia grossa entre as profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm (Figura 6). Teores de areia grossa acima de 32 % na profundidade de 0-10 cm ocorrem em menores altitudes da área, particularmente na região onde foram observados maiores valores de fluxo acumulado. Em contrapartida, nesta mesma região, onde o fluxo acumulado

é maior, podem-se observar menores teores de argila (menores que 45%) na profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm, os teores de areia acima de 32% ocorrem somente em altitudes menores. Já os maiores teores de argila são encontrados na profundidade de 10-20 cm em altitudes maiores. Com relação à porosidade total e macroporosidade pode-se observar que uma tendência geral é de maiores altitudes apresentarem menores valores de porosidade total e macroporosidade nas duas profundidades. Maiores valores de macroporosidade foram encontrados nas regiões de maior fluxo acumulado na profundidade de 0-10 cm, e nas zonas de maior declividade na profundidade de 10-20 cm.

Pelos resultados observados, o fluxo acumulado favorece a presença da areia grossa principalmente na profundidade de 0-10 cm, devido ao enriquecimento residual, uma vez que partículas finas do tamanho de argila são mais facilmente transportadas nas partes de maior fluxo acumulado que ocorreram na parte inferior da área de estudo. Nessas regiões ocorrem os maiores valores de macroporosidade. Isto posto, pode-se sugerir um efeito de aumento do volume de água pelo fluxo acumulado como principal agente condicionante do atributo macroporosidade na parte inferior da área na profundidade 0-10 cm.



**FIGURA 2.** Distribuição espacial das frações areia grossa na camada de 0-10 cm (a), areia grossa na camada de 10-20 cm (b), argila na camada 0-10 cm (c) e argila na camada de 10-20 cm (d), porosidade total na camada de 0-10 cm (e), porosidade total na camada de 10-20 cm (f), macroporosidade na camada 0-10 cm (g) e macroporosidade na camada de 10-20 cm (h). Os valores foram interpolados por meio da krigagem ordinária.

Dentro da área estudada, relativamente pequena em extensão (0,6 ha), pôde-se observar uma elevada variabilidade de alguns atributos físicos devido ao relevo. A variação de declividade, altitude e fluxo acumulado do escoamento superficial foram suficientes para gerar um coeficiente de variação máximo de 54,6 %. A partir da comparação do padrão de distribuição espacial dos atributos avaliados e os atributos geomorfológicos (altitude, declive e escoamento superficial acumulado),

pode-se observar uma maior influência do relevo na distribuição espacial das frações areia grossa e argila e na macroporosidade. Isto demonstra o comportamento diferenciado das frações areia grossa e areia fina em função da dinâmica da água e relevo, denotando a importância da subdivisão da fração areia em estudos pedogeomorfológicos. As frações granulométricas em Latossolos são atributos pouco variáveis ao considerá-los ao longo do tempo por ação do intemperismo, sendo sua variabilidade condicionada pela posição na paisagem, devido a processos erosionais ou deposicionais, associados ao fluxo de água (POCAY, 2000).

O maior tamanho da fração areia grossa não favorece seu transporte a grandes distâncias, ao contrário da argila, que é transportado mais facilmente pelo escoamento superficial da água. Como consequência disto, nos locais com maiores teores de areia grossa ocorrem os menores valores de microporosidade e de argila. MEDINA e GROHMANN (1966) encontraram uma relação direta entre maior macroporosidade e maiores teores de areia, assim como maior microporosidade e maiores teores de argila. Isto posto, pode-se sugerir um efeito de aumento do volume de água pelo fluxo acumulado como principal agente condicionante de zonas com solos mais arenosos e com maior macroporosidade na profundidade de 0-10 cm. Ademais, a perda de partículas mais finas do solo com tamanho das frações silte e argila, assim como a matéria orgânica durante a o escoamento superficial podem resultar na maior perda de nutrientes (WALTON et al. 2000). SOUZA et al. (2004), trabalhando com os atributos físicos do solo verificaram que as formas do relevo influenciam de forma diferenciada os diferentes atributos estudados. Os autores concluem que zonas mais homogêneas nos segmentos da paisagem devem ser avaliadas para a otimização do manejo dos solos. Dentro dessa premissa, EFFGEN (2006) verificou que em condições de relevo forte ondulado (20 a 45 % de declividade), faz-se necessária a divisão das áreas em segmentos para o manejo do solo objetivando o cultivo com café por apresentarem tais segmentos uma capacidade produtiva diferenciada.

O entendimento das relações entre atributos físicos e diferentes segmentos da paisagem tornam-se importantes para o manejo, uma vez que a retenção de água, aeração, adsorção de íons interferem no comportamento da cultura. Isto foi eficientemente realizado por meio da avaliação da distribuição espacial dos atributos físicos estudados e dos parâmetros geomorfológicos quantificáveis extraídos do MDE. O manejo dos solos na área estudada deve ser diferenciado nos locais em maior e menor altitude para o melhor desempenho das culturas e dos procedimentos de manejo como adubação e calagem aumentando a eficiência das práticas agrônômicas.

## **CONCLUSÃO**

Na área de estudo, de aproximadamente 0,6 ha, os atributos areia grossa, argila e macroporosidade apresentaram uma variabilidade espacialmente estruturada. A partir da distribuição espacial desses atributos e auxílio de parâmetros geomorfológicos, pode-se concluir que fluxo acumulado do escoamento superficial e a declividade influenciaram no transporte de partículas e locais menos susceptíveis a esse transporte maiores teores de argila e menores valores de macroporosidade foram encontrados. Já nas áreas mais susceptíveis ao transporte

de partículas, onde o fluxo acumulado do escoamento superficial e a declividade foram mais acentuados, foram observados maiores teores da fração areia grossa pelo seu enriquecimento residual resultando em maiores valores de macroporosidade.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo auxílio financeiro junto ao Programa Nacional de Pós Doutorado/ PNPd.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**: primeira aproximação. *Geomorfologia*, v.52, p. 17-28, 1977.

BLASZCZYNSKI, J. S. Landform characterization with geographic information Systems. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.63, p.183-191, 1997.

BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; SARNAGLIA, S.A. Utilização de análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1-8, 2010.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soils properties in central Iowa soils. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** v.58, p.1501-1511, 1994.

EFFGEN, T. A. M. **Atributos do solo em função de tratos culturais em lavouras de café conilon no sul do estado do Espírito Santo**. Alegre, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006, 93 p. (Dissertação de Mestrado).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ESRI. ArcGIS, GIS for Windows. **Environmental Systems Research Institute**. v 9.0. Redlands, CA., USA. 2001.

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

JENSON S. K.; J. O. DOMINGUE. **Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. v.54, n.11, p.1593-1600, 1988.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. **Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto**, SP. *Geociências*. v.19, p.265-281, 2000.

MATIELLO, J. B. **Café conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender.** Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1998. 162 p.

McBRATNEY, A.B.; MINASMY, M.S. On digital soil mapping. **Geoderma**, v.117, p.3-52, 2003.

MEDINA, H.P.; GROHMANN, F. Disponibilidade de água em alguns solos sob cerrado. **Bragantia**, v.25, p.65-75, 1966.

POCAY, V.G. **Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de latossolos sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar.** 2000. 177 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2000.

RIBEIRO JUNIOR, J.I. **Análises estatísticas no SAEG.** Viçosa, UFV, 2001. 301p.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.937-944, 2004.

WALTON, R.S.; VOLKER, R.E.; BRISTOW, K.L.; SMETTEM, K.R.J. Experimental examination of solute transport by surface runoff from low-angle slopes. **Journal of Hydrology, Amsterdam**, v.233, p.19-36, 2000.

WOOD, J. **The geomorphological characterization of digital elevation models.** PhD Tesis. City University. London. Disponível em: <http://www soi.city.ac.uk/~jwo/phd>. 185p. 2000. Acesso em 12 mar. 2011