

AMOSTRAGEM E VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA DE VEGETAÇÃO NATURAL EM REGENERAÇÃO¹

Julião Soares de Souza Lima², Gustavo Soares de Souza³ e Samuel Assis Silva⁴

RESUMO – Este trabalho teve como objetivos estimar o número de subamostras de solo, considerando-se métodos de estatística clássica e geoestatística, e determinar a variabilidade espacial dos atributos de fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa, em uma área de vegetação natural em processo de regeneração, no Município de Alegre, ES. Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-0,20 m, nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 10 m, perfazendo um total de 64 pontos. Observou-se baixo nível de fertilidade do solo. Considerando uma variação de 5% em torno da média no método da estatística clássica, necessita-se de maior número de amostras em relação à geoestatística. Todos os atributos químicos apresentaram dependência espacial de moderada a alta, com exceção da capacidade efetiva de troca catiônica (CTCe), que apresentou efeito pepita puro. O modelo de semivariograma que mais se ajustou aos dados foi o esférico. Os mapas de isolinhas permitiram visualizar a distribuição espacial diferenciada dos teores dos atributos químicos do solo.

Palavras-chave: Geoestatística, Krigagem e Número de amostras.

SAMPLING AND SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF A SOIL UNDER REGENERATING NATURAL VEGETATION

ABSTRACT – The objectives of this work was to estimate the number of soil subsamples considering the classical statistics and geostatistics and determine the spatial variability of soil fertility attributes of an Ultisol, with clay texture, in an area of regenerating natural vegetation in Alegre - ES. Soil samples were collected in a depth of 0.0-0.2 m, at the crossing points of a regular grid, comprising a total of 64 points located at 10 m-intervals. The area presented low fertility soil. Considering a variation of 5% around the mean in the classic statistics, it is necessary a larger number of samples in relation to geostatistics. All the chemical attributes showed moderate to high spatial dependence, except for the effective cation exchange capacity (CECe), which showed pure nugget effect. The spherical semivariogram model gave the best fit to the data. Isoline maps allowed visualizing the differentiated spatial distribution of the contents of soil chemical attributes.

Keywords: Geostatistics, Kriging and Number of samples.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, segundo as técnicas e conceitos utilizados na agricultura de precisão, tem-se levado em consideração, entre outros requisitos, a distância entre as amostras no estudo da variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos, físicos do solo e os relativos às plantas, em várias formas de ocupação do solo, de maneira a representar com maior precisão e otimizar recursos e diminuir custos.

A eficácia das estratégias de amostragem do solo pode ser aumentada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial dos atributos, podendo ser aplicado esse conhecimento na escolha de área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e interpretação de resultados (LEÃO et al., 2007). Segundo Carvalho et al. (2002), uma vez definida a população objeto de estudo, necessita-se escolher a melhor maneira de estudar algumas de suas

¹ Recebido em 22.02.2008 e aceito para publicação em 14.10.2009.

² Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Brasil. E-mail: <limajss@yahoo.com.br>.

³ Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Brasil. E-mail: <gsdsouza@hotmail.com>.

⁴ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Vicososa, MG - Brasil.



características. Nesse caso, delimita-se a observação a uma amostra da população, a qual deve reproduzir, o mais fielmente possível, suas características, com um número mínimo de amostras para estimar o valor médio com determinada exatidão.

A amostragem de solo é um dos procedimentos mais importantes, em qualquer programa de pesquisa, pois de nada valem análises químicas sofisticadas e extremamente rigorosas, se as amostras coletadas não representam a área em estudo (CHUNG et al., 1995).

Segundo Vieira (1983) e Souza et al. (1997), o estudo da dependência espacial dos atributos do solo pode reduzir o número de amostras em relação ao uso dos procedimentos amostrais definidos na estatística clássica. Com base nessa abordagem, o objetivo deste experimento foi estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em uma área de vegetação natural em processo de regeneração, por meio da estatística clássica e da geoestatística.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Itapemirim, nas coordenadas 20° 46' 2,8" S e 41° 27' 39,2" W, sub-bacia do Córrego Horizonte, no Distrito de Rive, Município de Alegre, ES.

O fragmento da Mata Atlântica em estado de regeneração natural localiza-se no terço médio de uma encosta em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, com textura argilosa (EMBRAPA, 1999), constituindo um compartimento com pedofoma convexa, com ligeira mudança para côncava na extremidade inferior esquerda, conforme modelo digital do terreno (Figura 1). A declividade da área está entre 30 e 45°, com altitude em torno de 150 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo "Aw", isto é, tropical quente úmido, com inverno frio e seco, temperatura anual média de 23,1 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.341 mm.

A área experimental apresenta-se em estado de regeneração natural há 30 anos aproximadamente, sendo os principais representantes do extrato arbóreo: angico-canjiquinha (*Peltophorum dubium*), ipê-felpudo (*Zeyhera tuberculosa*), jacaré (*Piptadenia communis*), cinco-folhas (*Sparattosperma vernicosum*); no extrato arbustivo: arranha-gato (*Acacia* spp.); serrapilheira (casca, folhas, galhos e outras partes) e nas áreas mais abertas ocorre a incidência de capim-colonião (*Panicum maximum*) e outras gramíneas.

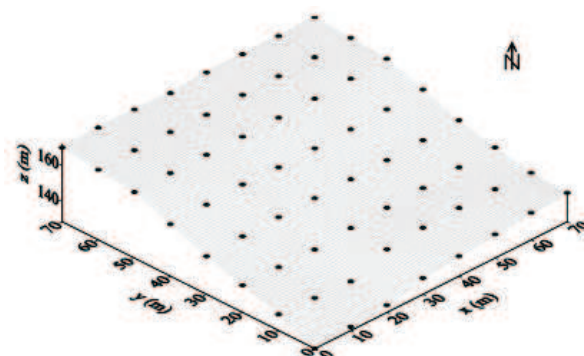


Figura 1 – Modelo digital de elevação (MDE) da área e representação da malha de amostragem do solo.
Figure 1 – Digital elevation model (MDE) of the area and representation of the soil sampling mesh.

Os pontos de amostragens foram georreferenciados, e as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,0-0,20 m no cruzamento entre as linhas e colunas de uma malha regular de 70 x 70 m, totalizando 64 pontos amostrais, para a determinação dos atributos químicos: fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺), acidez ativa (pH em água), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) e total (T a pH 7,0), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%), conforme metodologia proposta por Embrapa (1997).

Foi realizada análise descritiva dos dados para determinação da média, mediana, valores mínimos e máximos, coeficientes de variação, assimetria e curtose e o teste Kolmogorov-Smirnov (p<0,05) para verificação da normalidade dos dados. Segundo a estatística clássica, as variações nos atributos do solo dentro de unidades amostrais não são correlacionadas, e a média das amostras é o melhor estimador desses atributos em qualquer local de amostragem. O número de subamostras necessárias para compor uma amostra composta e estimar o valor médio de atributos dentro dos limites de precisão estipulados foi determinado pela equação 1, conforme Cochran (1965) e descrito por Carvalho et al. (2002):

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 * s^2}{d^2}$$

em que n é o número mínimo de amostras, t_{α} o valor do teste t de Student $\alpha = 0,95$; S^2 a variância amostral e d a porcentagem de variação em torno da média (5, 10, 15, 20, 25 e 30%).

A análise de dependência espacial, segundo as técnicas de geoestatística, é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes umas às outras que aquelas separadas por distâncias maiores (LANDIM, 1998), e, por isso, quantificou-se o grau de dependência espacial dos atributos, considerando o ajuste do semivariograma experimental utilizando o *software* GS+ (ROBERTSON, 1998). O semivariograma foi estimado pela equação 2, descrita por Vieira (2000).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

em que $\gamma(h)$ é a semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$; h é a distância entre pontos amostrais; e $N(h)$ é o número total de pares de pontos possíveis.

Inicialmente, foram realizadas em todos os atributos as análises de tendência com os eixos x e y , por meio da análise de equações de regressão até o nível quadrático e com todas as interações entre esses eixos. Para os atributos que não apresentaram tendência, trabalhou-se com os dados originais. Já os atributos que apresentaram tendência significativa foram trabalhados com os resíduos na análise geoestatística, conforme descrito por Azevedo (2004).

Modelos teóricos como o esférico, o exponencial e o gaussiano foram testados para o ajuste do semivariograma escalonado pela variância dos dados, definindo os parâmetros: efeito pepita (C_0), o patamar (C_0+C) e o alcance da dependência espacial (a). Para a escolha do modelo de melhor ajuste, utilizou-se a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR) e o maior coeficiente de determinação (R^2). Comprovada a dependência espacial, estimaram-se valores pelo método da krigagem para locais não amostrados.

Considerou-se uma distância equivalente à metade do alcance (a) obtido por meio do semivariograma, para definir o número mínimo de subamostras necessárias para avaliar cada um dos atributos químicos e para garantir a dependência espacial, conforme Carvalho et al. (2002) e Souza et al. (2006).

O índice de dependência espacial dos atributos (IDE), que é dado por $[C/(C_0+C)]*100$, foi determinado e classificado, segundo Zimback (2001), assumindo, assim, os seguintes intervalos: dependência espacial baixa para $IDE \leq 25\%$, moderada para $25\% \leq IDE \leq 75\%$ e forte para $IDE > 75\%$.

Os mapas de distribuição espacial foram gerados através do método de interpolação krigagem ordinária. Para os atributos que apresentaram tendência, o mapa do resíduo foi adicionado a tendência obtida na análise de regressão, conforme descrito por Azevedo (2004).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. Estatística descritiva

Os valores médios dos atributos químicos do solo (Tabela 1) para a área de vegetação natural em estado de regeneração foram classificados de acordo com Prezotti et al. (2007) no Estado do Espírito Santo, em baixo para P ($<5,0 \text{ mg dm}^{-3}$), K^+ ($<60,0 \text{ mg dm}^{-3}$), Ca^{2+} ($<1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), SB ($<2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), CTC ($<2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e V ($<50,0\%$); médio para Mg^{2+} ($0,5-1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Al^{3+} ($0,3-1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), T ($4,5-10,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e m ($20,0-40,0\%$), alto para H+Al ($>5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e acidez elevada ($pH < 5,0$).

A baixa fertilidade apresentada em solo sob vegetação natural é esperada, o que decorre do acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes em comparação com espécies exóticas que recebem adubação (SALGADO et al., 2006).

Os atributos P, Mg^{2+} , Al^{3+} , T e m apresentaram coeficiente de assimetria negativo, indicando tendência de maior quantidade de valores maiores que a média. Todos os atributos apresentaram coeficiente de curtose negativo, ou seja, distribuição de frequência platicúrtica. Os valores da média e mediana para os atributos em estudo eram similares, indicando a normalidade dos dados, comprovada pelo teste utilizado, com exceção do P. Satisfeita a condição de normalidade dos dados, a estimação de valores em locais não medidos por interpolação por krigagem apresenta melhor resultado em relação a outros métodos (PAZ-GONZALEZ et al., 2001).

A variabilidade dos dados, medida pelo coeficiente de variação (CV), foi baseada nos limites propostos por Wilding e Drees (1983), indicando baixa variabilidade ($CV < 15\%$) para pH, H+Al e T; moderada ($15\% \leq CV < 35\%$) para K^+ , Mg^{2+} , CTC e V e alta ($CV \geq 35\%$) para P, Ca^{2+} , Al^{3+} , SB e m.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo sob vegetação natural em regeneração, coletado na profundidade de 0,0-0,2 m.

Table 1 – Descriptive statistics of chemical attributes of soil under regenerating natural vegetation collected in the depth of 0,0-0,2 m.

Atributos	Md	S	Valores		Coeficientes			K-S p-valor	
			Mín.	Máx.	CV	C _s	C _k		
pH	4,71	4,70	0,19	4,40	5,10	4,03	0,36	-0,68	p<0,15 ^{ns}
P (mg dm ⁻³)	2,44	3,00	0,97	1,00	4,00	39,75	-0,14	-1,00	p<0,01 *
K ⁺ (mg dm ⁻³)	49,43	50,00	14,26	20,00	84,00	28,84	0,14	-0,02	p>0,20 ^{ns}
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,39	0,40	0,22	0,10	0,90	56,41	0,64	-0,04	p<0,15 ^{ns}
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,80	0,80	0,27	0,20	1,30	33,75	-0,04	-0,82	p>0,20 ^{ns}
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,73	0,70	0,32	0,01	1,20	43,83	-0,24	-0,89	p>0,20 ^{ns}
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	6,07	6,02	0,62	4,95	7,26	10,21	0,04	-0,83	p>0,20 ^{ns}
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,32	1,31	0,49	0,46	2,49	37,12	0,27	-0,41	p>0,20 ^{ns}
CTC (cmol _c dm ⁻³)	2,12	2,13	0,33	1,46	2,93	15,57	0,11	-0,05	p>0,20 ^{ns}
T (cmol _c dm ⁻³)	7,46	7,52	0,74	5,73	8,94	9,92	-0,25	-0,38	p>0,20 ^{ns}
V (%)	17,25	17,34	5,52	6,68	29,81	32,00	0,25	-0,44	p>0,20 ^{ns}
m (%)	34,97	34,78	17,40	0,01	70,21	49,76	-0,01	-0,73	p>0,20 ^{ns}

\bar{x} : média; Md: mediana; s: desvio-padrão; Máx.: máximo; Mín.: mínimo; CV: coeficiente de variação; C_s: coeficiente de assimetria; C_k: coeficiente de curtose; ns: distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade; e *: distribuição não normal.

Tabela 2 – Número mínimo de amostras necessário para estimar os valores dos atributos químicos do solo, nas diferentes porcentagens de variação em torno da média.

Table 2 – Smallest number of samples needed to estimate the contents of soil chemical attributes, in the different percentages of variation around the mean.

Atributos	Números de subamostras						Alcance
	Variação em torno da média						
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	
pH	3	1	1	1	1	1	16
P (mg dm ⁻³)	243	61	27	15	10	7	53
K ⁺ (mg dm ⁻³)	128	32	14	8	5	4	43
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	489	122	54	31	20	14	20
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	175	44	19	11	7	5	22
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	295	74	33	18	12	8	61
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	16	4	2	1	1	1	19
SB (cmol _c dm ⁻³)	212	53	24	13	8	6	22
CTC (cmol _c dm ⁻³)	37	9	4	2	1	1	> 64
T (cmol _c dm ⁻³)	15	4	2	1	1	1	16
V (%)	157	39	17	10	6	4	23
m (%)	380	95	42	24	15	11	20

3.2. Métodos para determinação de subamostras

O Tabela2 mostra o número mínimo de subamostras determinadas pela equação 1 e, segundo o critério do alcance da dependência espacial, como estratégias de amostragem.

3.2.1. Estatística clássica

Fixando o número mínimo de 20 amostras simples para representar uma composta, com o solo coletado de forma convencional, segundo distribuição em ziguezague na área, os resultados indicam que somente os

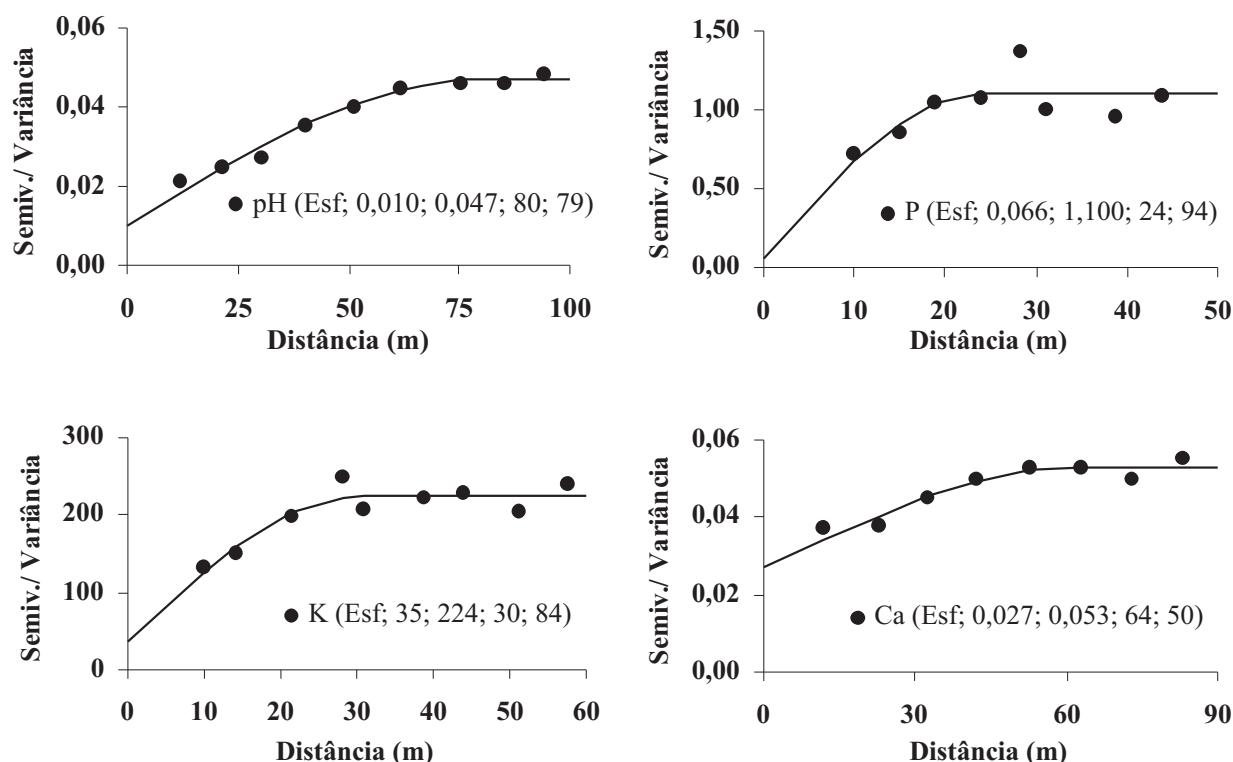


Figura 2 – Modelos e parâmetros (C_0 ; C_0+C ; a; IDE) dos semivariogramas dos atributos químicos pH, P, K^+ e Ca^{2+} sob vegetação nativa na profundidade de 0,0-0,2 m.

Figure 2 – Models and parameters (C_0 ; C_0+C ; a; IDE) of semivariograms of the chemical attributes pH, P, K^+ and Ca^{2+} under native vegetation in the depth of 0,0-0,2 m.

teores de pH, H+Al e T estariam sendo estimados em cerca de 5% de variação em torno da média, enquanto todos os atributos estariam sendo estimados a 25% (com maior grau de variação em torno da média).

3.2.2. Geoestatística

Segundo o alcance de dependência espacial, verificou-se que o pH, Ca^{2+} , H+Al, T e m necessitam de no máximo 20 amostras. Esses resultados são corroborados com os encontrados por Souza et al. (1997), Carvalho et al. (2002) e Souza et al. (2006), os quais afirmaram que o uso do alcance do semivariograma de atributos do solo pode reduzir o número de amostras em relação ao uso dos procedimentos amostrais definidos na estatística clássica, principalmente, em grandes áreas, onde a variação dos dados tende a ser maior, devido à maior heterogeneidade do solo e paisagem, aumentando ainda mais o número de subamostras.

Na análise de tendência, o alumínio (Al^{3+}) foi o único atributo que apresentou tendência significativa, sendo usado na análise os resíduos (Al-R) da regressão. Na análise espacial, todos os atributos do solo apresentaram dependência espacial para as condições deste estudo (Figuras 2, 3 e 4), com exceção da CTCe, fato que pode ser explicado pela densidade dos pontos, ou seja, a menor distância entre pontos na malha (10 m) não foi suficiente para quantificar a sua dependência espacial. Um parâmetro importante a ser observado, nessa análise, é o efeito pepita (C_0), que representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectadas na escala de amostragem (VIEIRA, 2000). Quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada pelo atributo (LIMA et al., 2006); com isso, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa e maior a confiança no valor estimado.

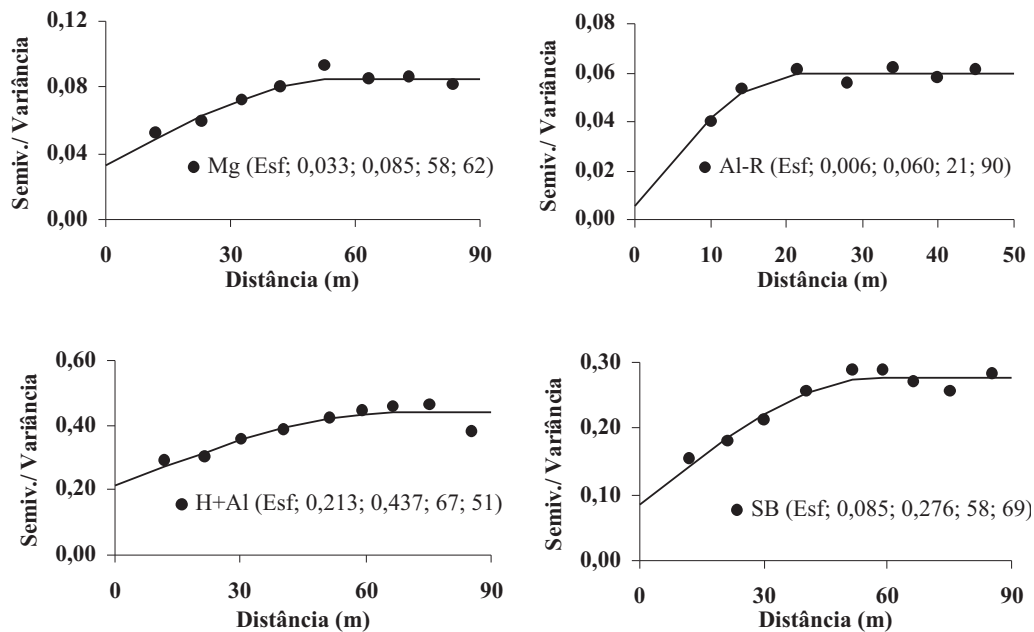


Figura 3 – Modelos e parâmetros (C_0 ; C_0+C ; a ; IDE) dos semivariogramas dos atributos químicos Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al e SB sob vegetação nativa na profundidade de 0,0-0,2 m.

Figure 3 – Models and parameters (C_0 ; C_0+C ; a ; IDE) of the semivariograms of the chemical attributes Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al and SB under native vegetation in the depth of 0,0-0,2 m.

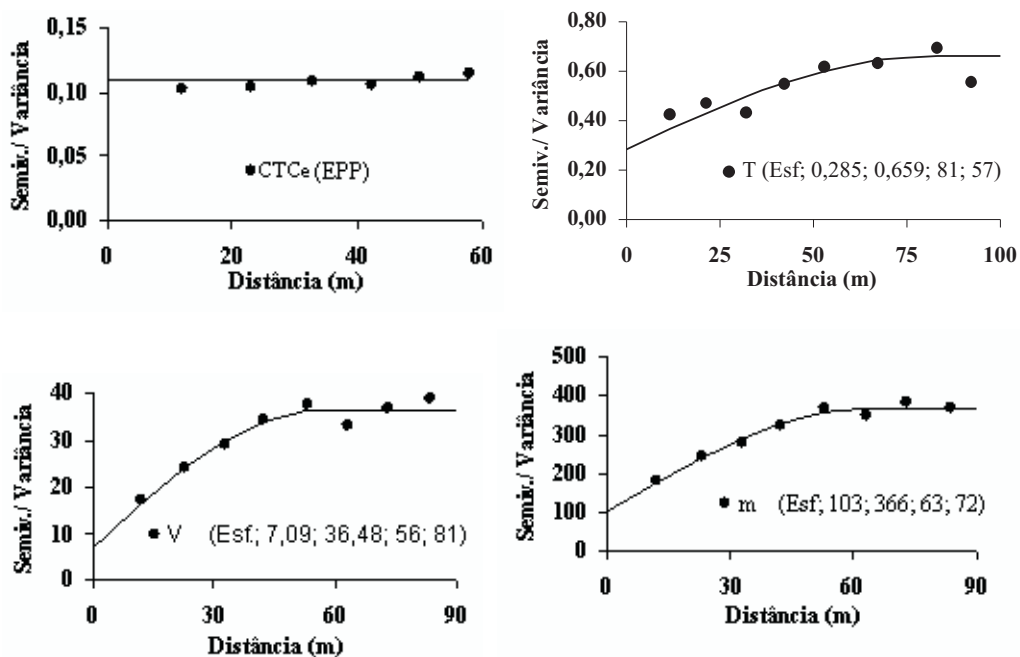


Figura 4 – Modelos e parâmetros (C_0 ; C_0+C ; a ; IDE) dos semivariogramas dos atributos químicos CTC, T, V% e m sob vegetação nativa na profundidade de 0,0-0,2 m.

Figure 4 – Models and parameters (C_0 ; C_0+C ; a ; IDE) of the semivariograms of the chemical attributes CTC, T, V e m) under native vegetation in the depth of 0,0-0,2 m.

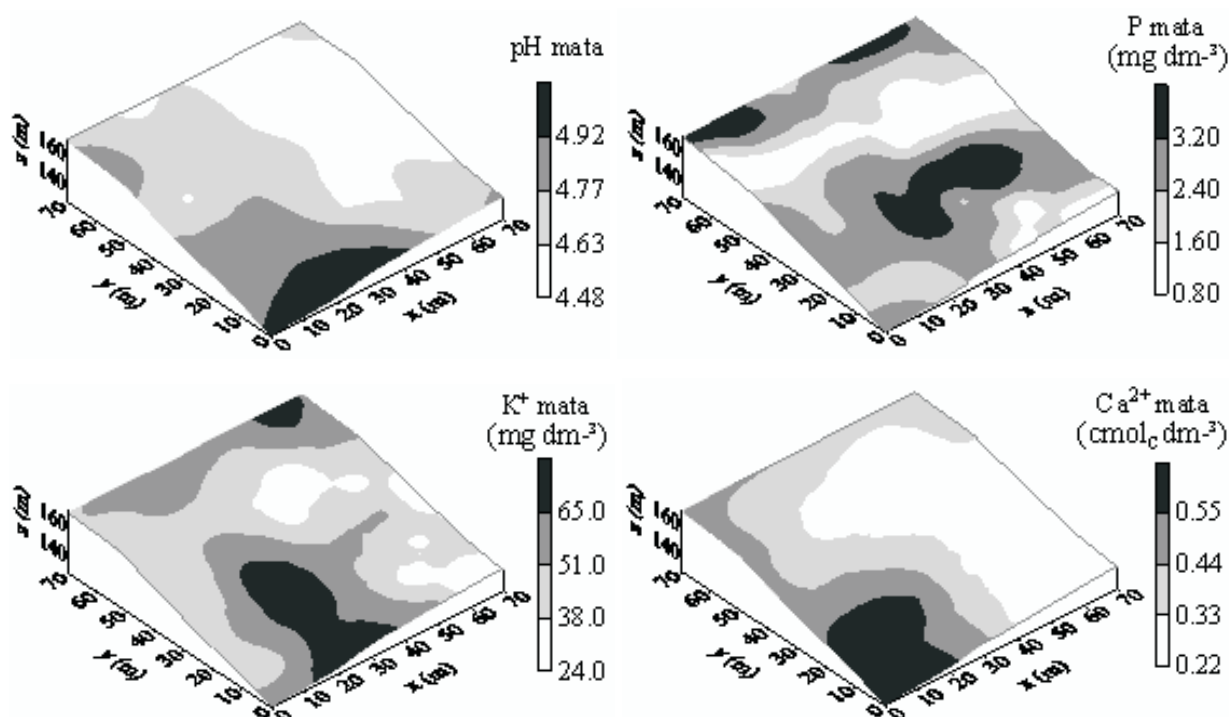


Figura 5 – Distribuição espacial dos níveis de pH e dos teores de P, K⁺, Ca²⁺ na área sob vegetação nativa na profundidade de 0,0-0,2 m.

Figure 5 – Spatial distribution of pH levels and contents of P, K⁺, Ca²⁺ in the area under native vegetation in the depth of 0,0-0,2 m.

O atributo que apresentou o maior alcance foi a T (81 m), sendo o menor observado em Al-R (21 m). Baixos valores de alcance podem influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação na estimativa de valores em locais não medidos (CORÁ et al., 2004).

O modelo teórico de semivariograma que melhor apresentou ajuste aos dados foi o esférico. A análise do índice de dependência espacial (IDE), conforme critérios estabelecidos por Zimback (2001), classificou-o em moderado para os atributos Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al, SB, T e m% e forte para pH, P, K⁺, Al-R e V. Então, quanto maior o IDE do atributo, melhor a estimativa pela técnica da krigagem para locais não amostrados.

Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentados os mapas temáticos obtidos através da interpolação dos dados por krigagem. Os mapas de isolinhas permitiram visualizar uma região com os maiores valores

encontrados para os atributos pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB e V, que se localiza na extremidade inferior esquerda da área de estudo, justamente na mudança da forma convexa para a côncava do terreno, possivelmente proporcionado pelo arraste desses elementos no escoamento superficial da água de chuva da parte alta para a baixa, sendo, portanto, área de deposição.

Observou-se certa similaridade nos mapas de Al³⁺ e m, no entanto esses atributos não apresentaram o mesmo padrão espacial, devido à existência e remoção de tendência para o Al³⁺, sendo seus maiores valores encontrados no lado direito da área, ou seja, no local onde apresentavam baixos valores de Ca²⁺, Mg²⁺, SB e pH. Pereira et al. (2000) relataram que a solubilidade do alumínio diminui com o aumento do pH. Os atributos H+Al e T apresentaram maiores valores na região superior do terreno, no lado direito, indicando grande relação da acidez potencial com os sítios de carga do solo.

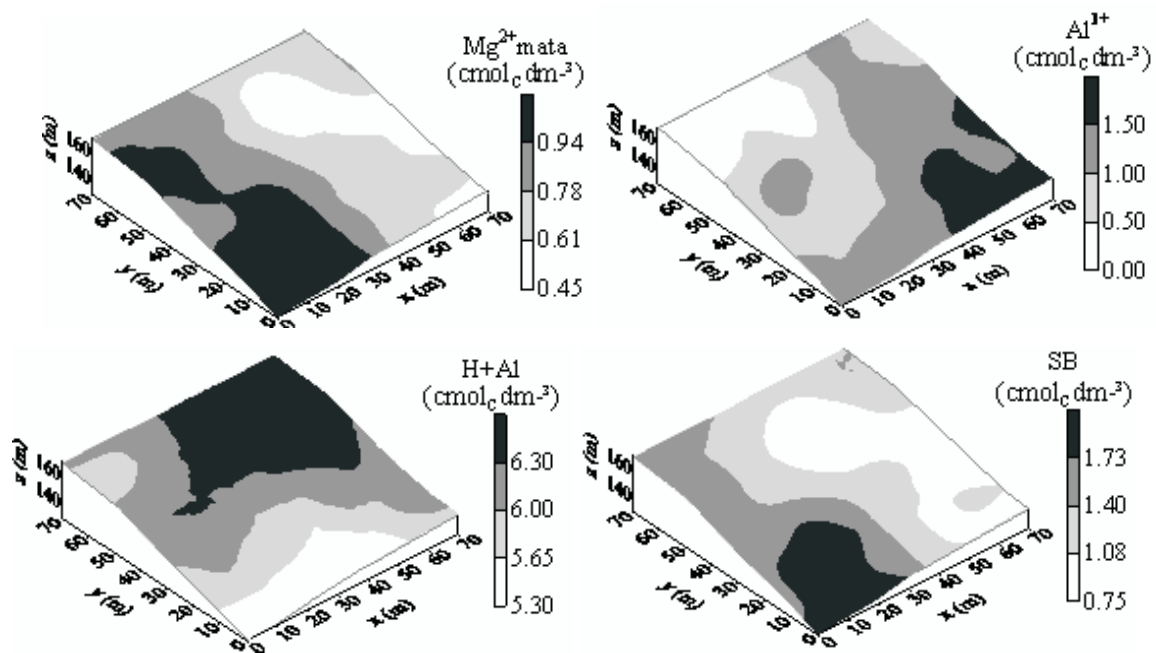


Figura 6 – Distribuição espacial dos teores de Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al e SB na área em estudo na profundidade de 0,0-0,2 m.
Figure 6 – Spatial distribution of Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al and SB contents in the area under native vegetation in the depth of 0,0-0,2 m.

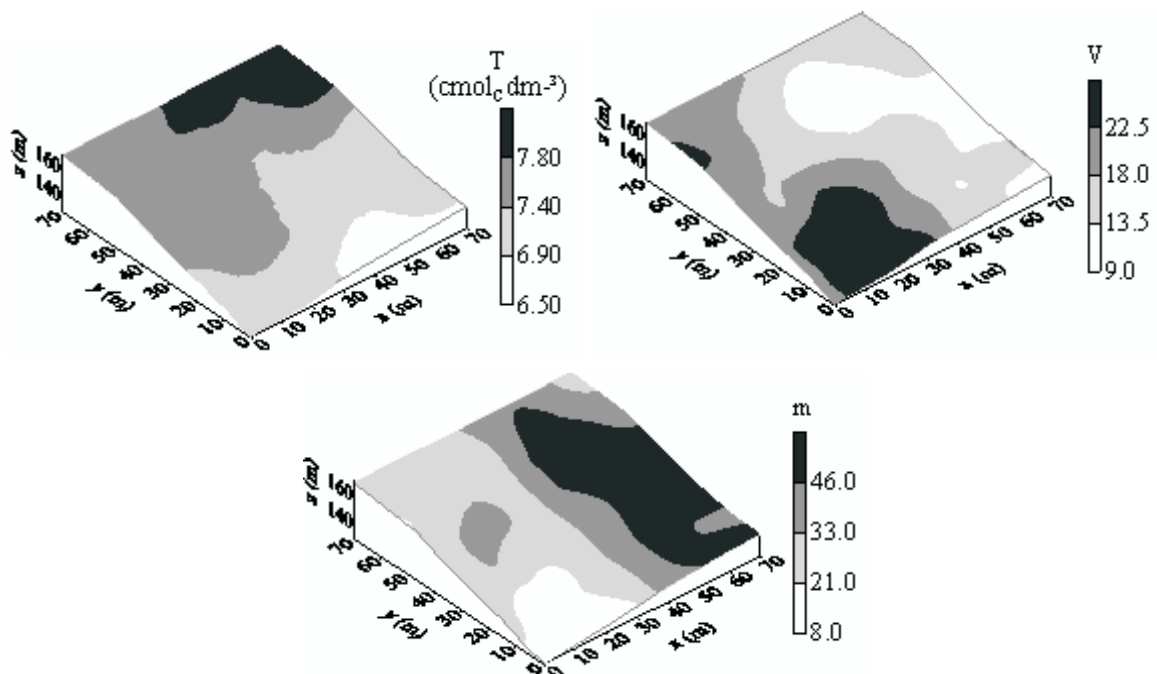


Figura 7 – Distribuição espacial dos valores de T, V% e m na área em estudo na profundidade de 0,0-0,2 m.
Figure 7 – Spatial distribution of T, V% and m in the area in study in the.

4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados, chegaram-se às seguintes conclusões:

- Para uma variação de 5% em torno da média, com exceção do pH, H+Al, CTC e T, os demais atributos apresentaram quantidades de subamostras superiores às determinadas pela análise geoestatística.

- Com exceção da CTCe, todos os atributos químicos do solo apresentaram dependência espacial na área de estudo, mostrando a necessidade de considerar a distância entre as amostras no estudo da fertilidade do solo.

5. REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, E. C. **Uso de geoestatística e recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado do Mato Grosso**. 2004. 132f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas, Campinas, 2004.
- CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CHUNG, C. K.; CHONG, S. K.; VARSA, E. C. Sampling strategies for fertility on a stoy silt loam soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.26. n.5/6, p.741-763, 1995.
- CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 1999. 412p.
- LEÃO, A. B. et al. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.1-6, 2007.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. Rio Claro: Universidade Estadual de São Paulo, 1998. 226p.
- LIMA, J. S. S. et al. Estudo da viabilidade de métodos geoestatísticos na mensuração da variabilidade espacial da dureza da madeira de Paraju (*Manilkara* sp.). **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.651-657, 2006.
- PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, n.2, p.469-479, 2001.
- PEREIRA, W. L. M.; VELOSO, C. A. C.; GAMA, J. R. N. F. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia Oriental. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.531-537, 2000.
- PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 5ª Aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- ROBERTSON, G. P. **GS+ : Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Desing Software, 1998. 152p.
- SALGADO, B. G. et al. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. **Revista Árvore**, v.30, n.3, p.343-349, 2006.
- SOUZA, L. S. et al. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.367-372, 1997.
- SOUZA, Z. M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.892-836, 2006.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-54.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; DREES, L. R. (Eds). **Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions**. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.