



Ciência Rural

ISSN: 0103-8478

cienciarural@mail.ufsm.br

Universidade Federal de Santa Maria

Brasil

Souza Menezes de, Zigomar; Marques, José; Pereira Tadeu, Gener; Moreira, Luis Fernando  
Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de  
cana-de-açúcar

Ciência Rural, vol. 34, núm. 6, nov.-dez., 2004, pp. 1763-1771  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33134615>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar<sup>1</sup>

**Spatial variability of the pH, Ca, Mg and V% of the soil in different forms of the landscape under sugarcane crop**

**Zigomar Menezes de Souza<sup>2</sup> José Marques Júnior<sup>3</sup>  
Gener Tadeu Pereira<sup>4</sup> Luis Fernando Moreira<sup>5</sup>**

### RESUMO

*Em uma paisagem natural, os solos apresentam uma ampla variação dos atributos químicos, tanto vertical como horizontal, resultante da interação dos diversos fatores de formação envolvidos. Este trabalho foi desenvolvido em Guariba-SP, com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%) em um Latossolo Vermelho eutroférrego sob cultivo de cana-de-açúcar, utilizando-se métodos da estatística clássica, análise geostatística e técnica de interpolação de dados, com a finalidade de observar padrões de ocorrência destes atributos na paisagem. No terço inferior da encosta, após análise detalhada da variação do gradiente do declive, caracterizaram-se dois compartimentos (I e II), sob os quais os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento de uma malha, com intervalos regulares de 50m, perfazendo um total de 206 pontos, nas profundidades de 0,0-0,2m e 0,6-0,8m. Os maiores alcances foram observados na profundidade de 0,0-0,2m para todos os atributos estudados, com exceção do cálcio que apresentou comportamento inverso, refletindo os efeitos do maior grau de intemperismo e do manejo na variabilidade natural dos solos. Pequenas variações, nas formas do relevo, condicionam variabilidade diferenciada para os atributos químicos.*

**Palavras-chave:** geoestatística, krigagem, atributos químicos.

### ABSTRACT

*In a natural landscape soils present a wide variation of the chemical attributes at vertical and horizontal*

*directions, which is result of the interaction among several soil formation factors. This work was developed in Guariba-SP with the objective of evaluating the spatial variability of pH, calcium (Ca), magnesium (Mg) and base saturation (%BS) in an oxisol under sugarcane cultivation, being used statistical classic methods, geostatistics analyses and interpolation techniques. After detailed analysis of the variation of the gradient of slope, at the lowest third of the hillside, two compartments (I and II) were distinguished under which the soils were collected at the crossing points of a regular grid with intervals of 50m, total of 206 points, in the depths of 0.0-0.2m and 0.6-0.8m. The largest ranges found for the spatial variability models were observed in the depth of 0.0-0.2m for all the studied attributes, except for the calcium that presented an inverse behavior, reflecting the effects of the largest weathering degree and of the handling in the natural variability of the soils. Based on the results we derive that small variations in the forms of the landscape can define different spatial variabilities found for the chemical attributes studied.*

**Key words:** geostatistics, kriging, chemical attributes.

### INTRODUÇÃO

A modernização da agricultura tem como ênfase o desenvolvimento sustentado, em que a otimização dos recursos de produção, minimização dos

<sup>1</sup>Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo 00/10210-2).

<sup>2</sup>Doutorando do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual de São Paulo (UNESP). Via de acesso Professor Paulo Donato Castellane s/n, 14870-900, Jaboticabal, SP. Bolsista da FAPESP. E-mail:zigmor@fcav.unesp.br

<sup>3</sup>Professor Doutor, Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP. E-mail:marques@fcav.unesp.br

<sup>4</sup>Professor Doutor, Departamento de Ciências Exatas, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP. E-mail:generp@fcav.unesp.br

<sup>5</sup>Aluno de Iniciação Científica, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP

efeitos indesejáveis ao meio ambiente e aumento de produtividade são os objetivos finais deste processo. Assim, a convencional aplicação de insumos é baseada em teores médios da fertilidade do solo, podendo subestimar ou superestimar esses teores no solo, acarretando excessos ou déficit nutricionais em determinadas áreas. Portanto, o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode otimizar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes, melhorando, dessa maneira, o controle do sistema de produção das culturas.

Pela própria natureza dos fatores responsáveis pela sua formação, o solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente. Este fato ocorre porque o próprio material de origem não é uniforme em toda a sua extensão, ou seja, o material de origem não sofre o processo de intemperização de forma homogênea e contínua. Nas camadas superficiais, os solos são mais intemperizados (BUOL et al., 1997). No caso de uma área cultivada, existem outras fontes de variabilidade no solo devidas ao manejo exercido pelo homem, como o cultivo em linhas e a consequente aplicação localizada de fertilizantes (JOHNSON et al., 1996; SOUZA et al., 1997). O conhecimento da variação de atributos químicos é importante para o levantamento e manejo do solo, planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas. A variabilidade dos atributos químicos do solo são alguns dos possíveis responsáveis pela influência na oscilação da produtividade. Antes de buscar qualquer relação destes elementos com a cultura, é importante avaliar a extensão e a intensidade da dependência espacial desta variação, isoladamente ou em conjunto com outros parâmetros (GANDAH et al., 2000).

Inúmeros trabalhos de campo têm mostrado a importância do estudo das variações das condições do solo como aspecto fundamental para se implementar uma agricultura mais eficiente e rentável, sendo que estes trabalhos, desenvolvidos através das técnicas geoestatísticas, mostram que a variabilidade do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial (VIEIRA et al., 1983; SOUZA et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1999; CARVALHO et al., 2003; SILVA et al., 2003). Segundo SILVA & CHAVES (2001), com exceção do pH dos solos, os atributos químicos apresentam maior variação que as propriedades físicas.

Os atributos químicos do solo, após sofrerem sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas e, consequentemente, pelos processos erosivos, comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da paisagem. Considerando

essas variações e a dependência espacial, a utilização de amostragem aleatória seria insuficiente para representar toda uma classe de solo (PREVEDELLO, 1987). MARQUES JÚNIOR & LEPSCH (2000) e WANG et al. (2002) afirmam que pequenas variações, no gradiente do declive, são suficientes para adicionar variabilidade. Em sistemas de cultivos altamente tecnificados, como em cana-de-açúcar, é fundamental ter o conhecimento da variabilidade espacial de atributos químicos, o que poderá contribuir para redução de custos nos sistemas de produção (ALBUQUERQUE et al., 1996).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial do pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%) em um Latossolo Vermelho eutroférico, sob cultivo de cana-de-açúcar, associados a compartimentos da paisagem.

## MATERIALE MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no nordeste do Estado de São Paulo, no município de Guariba (SP). As coordenadas geográficas são 21° 19' de latitude sul e 48° 13' de longitude oeste, com altitude média de 640m acima do nível do mar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Cwa), com precipitação média de 1400mm, com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. A vegetação natural era constituída por floresta tropical subcaducifólia e mata ciliar.

O relevo é predominantemente suave ondulado com declividades médias variando de 3 a 8 %. A área experimental está sob cultivo de cana-de-açúcar há mais de trinta anos. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico textura muito argilosa (LVef), (EMBRAPA, 1999).

De acordo com o modelo de TROEH (1965), classificou-se a curvatura e o perfil das formas do terreno no terço inferior da encosta, em dois compartimentos I e II, como mostrado na Figura 1. No compartimento I, verificou-se uma menor variação das formas e curvaturas do terreno (predomínio da forma linear) e, no compartimento II, observou-se uma maior variação das formas e curvaturas do terreno (presença de formas linear, côncavas e convexas). Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento de uma malha, com intervalos regulares de 50m, perfazendo um total de 206 pontos em uma área de 42 ha, nas profundidades de 0,0-0,2m e 0,6-0,8m. Na caracterização química do solo foi determinada, a acidez ativa (pH em  $\text{CaCl}_2$ ) determinada potenciometricamente utilizando-se a relação 1:2,5 de solo:  $\text{CaCl}_2$ . As bases trocáveis cálcio

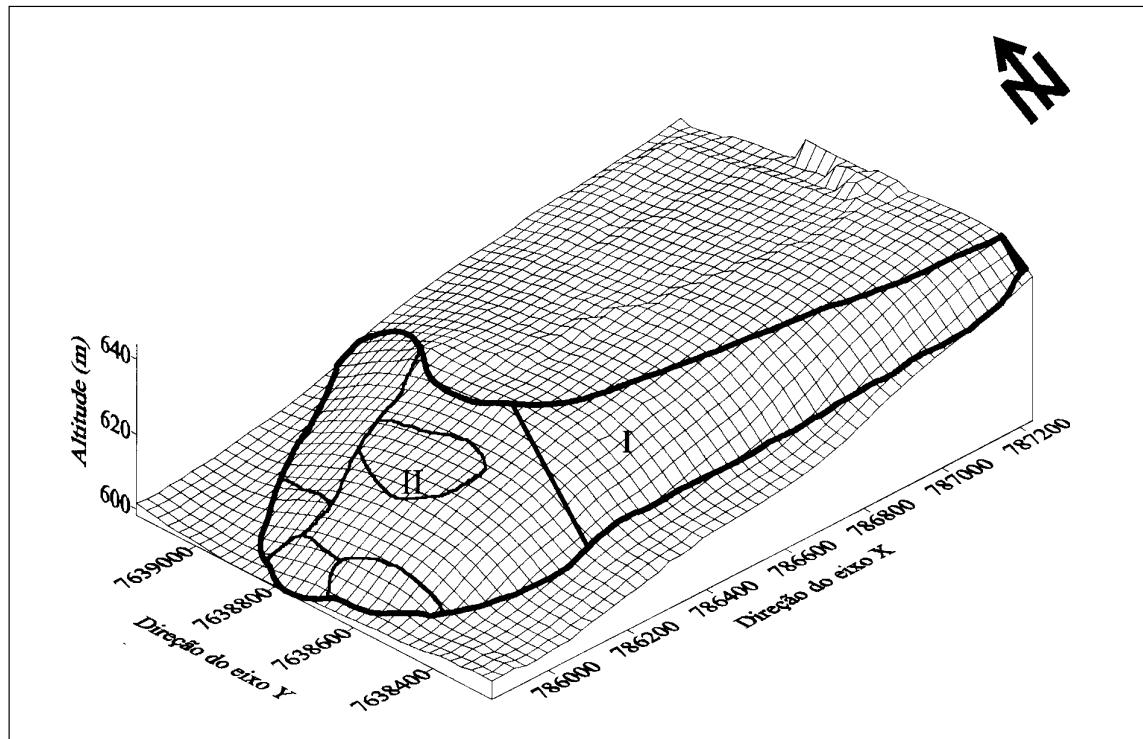

 $\hat{\gamma}(h)$ 

Figura 1 – Modelo de elevação digital da área de estudo, com compartimentos identificados (I e II).

(Ca) e magnésio (Mg), foram extraídos utilizando o método da resina trocadora de íons proposta por RAIJ et al. (2001). Com base nos resultados das análises químicas, foi calculada a porcentagem de saturação por bases do solo (V%).

Os atributos químicos do solo foram analisados através da análise estatística descritiva e de técnicas geoestatística. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997). A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA et al., 1983; ROBERTSON, 1998), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

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

em que  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ . O semivariograma é representado pelo gráfico  $\hat{\gamma}(h)$  versus  $h$ . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$ , são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0 + C_1$ ; e o

alcance, a). Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial, linear com patamar e o gaussiano (MCBRATNEY & WEBSTER, 1986). Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita = 25 % do patamar, moderada quando está entre 25 e 75 %, e fraca > 75 %.

Estes modelos foram ajustados através do programa GS+(ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada e menor SQR (soma de quadrados do resíduo). Os mapas de distribuição espacial foram obtidos por meio de interpolação dos dados (krigagem ordinária) através do programa SURFER (1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para o pH e teores de Ca, Mg e V% são apresentados na tabela 1. Nota-se que os valores da média e mediana

Tabela 1 – Estatística descritiva para as variáveis pH, cálcio ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), magnésio ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e saturação por bases (%) de amostras coletadas na malha nas profundidades de 0,0-0,2m e 0,6-0,8m.

| Estatística    | Variáveis químicas |                    |          |                     |
|----------------|--------------------|--------------------|----------|---------------------|
|                | pH                 | Cálcio             | Magnésio | Saturação por bases |
|                |                    |                    |          | 0,0-0,2m            |
| Média          | 5,2                | 37,6               | 12,3     | 59,3                |
| Mediana        | 5,2                | 37,0               | 12,0     | 59,8                |
| Mínimo         | 4,4                | 21,0               | 7,0      | 35,6                |
| Máximo         | 6,0                | 58,0               | 20,0     | 81,1                |
| Assimetria     | 0,3                | 0,2                | 0,3      | -0,03               |
| Curtose        | -0,3               | -0,7               | -0,5     | -0,8                |
| CV (%)         | 6,4                | 25,6               | 25,0     | 16,9                |
| Desvio padrão  | 0,3                | 9,6                | 3,1      | 10,1                |
| p <sup>1</sup> | 0,09               | 0,09               | 0,1      | 0,06                |
| 0,6-0,8m       |                    |                    |          |                     |
| Média          | 5,4                | 24,3               | 6,5      | 57,3                |
| Mediana        | 5,5                | 24,0               | 6,0      | 57,7                |
| Mínimo         | 5,0                | 12,0               | 4,0      | 42,2                |
| Máximo         | 5,9                | 40,0               | 10,0     | 70,0                |
| Assimetria     | -0,3               | 0,2                | 0,4      | -0,2                |
| Curtose        | -0,4               | -0,7               | -0,9     | -0,7                |
| CV (%)         | 3,6                | 22,1               | 23,1     | 11,3                |
| Desvio padrão  | 0,2                | 6,9                | 1,8      | 6,5                 |
| p              | 0,13               | 0,05 <sup>ns</sup> | 0,15     | 0,05 <sup>ns</sup>  |

<sup>1</sup> p = estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov, não significativo a 5% de probabilidade (<sup>ns</sup>).

de todas as variáveis são próximos. Os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero, o que caracteriza distribuição simétrica, somente as variáveis Ca e V% na profundidade 0,6-0,8m apresentaram não significância pelo teste Kolmogorov-Smirnov. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989 e WARRICK & NIELSEN, 1980). Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constante na área de estudo. Este fato não ocorreu no presente estudo, tendo em vista que os semivariogramas apresentaram patamares bem definidos.

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV) proposta por WARRICK & NIELSEN (1980), a variável pH nas profundidades de 0,0-0,2m e 0,6-0,8m apresentou baixa variabilidade (Tabela 1). Resultados semelhantes para a profundidade de 0,0-0,2m foram encontrados por SILVEIRA et al. (2000), CARVALHO et al. (2002), CARVALHO et al. (2003) e SILVA et al. (2003). Na profundidade de 0,6-0,8m os resultados do CV para a variável pH concordam com os resultados obtidos por ARAUJO (2002). As variáveis Ca, Mg e V%

apresentaram moderada variabilidade nas profundidades estudadas. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVEIRA et al. (2000) e SILVA et al. (2003) na profundidade de 0,0-0,2m e ARAUJO (2002) e SOUZA et al. (2003) na profundidade de 0,6-0,8m.

Os resultados da análise geoestatística (Tabela 2 e Figura 2) mostraram que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial nas duas profundidades. Os modelos que melhor ajustaram ao semivariograma das variáveis pH, Ca e Mg, com base no menor valor da soma de quadrado dos resíduos (SQR) e no maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), foi o esférico, enquanto que a variável V% foi o modelo exponencial na profundidade de 0,0-0,2m. Na profundidade 0,6-0,8m, o pH e Mg ajustaram ao modelo exponencial e o Ca e V% ao modelo esférico. O modelo que ajustou com maior freqüência aos dados químicos foi o esférico, juntamente com o exponencial, sendo que OLIVEIRA et al. (1999), ARAUJO (2002), CARVALHO et al. (2003) e SOUZA et al. (2003), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos obtiveram resultados semelhantes.

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994). A relação  $C_0/(C_0+C_1)$  mostrou que todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial moderada nas

Tabela 2 – Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis pH, cálcio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), magnésio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e saturação por bases (%) de amostras coletadas na malha nas profundidades de 0,0-0,2m e 0,6-0,8m.

| Parâmetro                      | Variáveis químicas |          |             |                     |
|--------------------------------|--------------------|----------|-------------|---------------------|
|                                | pH                 | Cálcio   | Magnésio    | Saturação por bases |
| 0,0-0,2m                       |                    |          |             |                     |
| Modelo                         | Esférico           | Esférico | Esférico    | Exponencial         |
| Efeito pepita ( $C_0$ )        | 0,04               | 35,3     | 4,9         | 31,4                |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )          | 0,09               | 109      | 9,9         | 111,6               |
| Alcance (a)                    | 345                | 510      | 473         | 235                 |
| $^1[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$ | 44                 | 32       | 50          | 28                  |
| $^2R^2$ (%)                    | 99                 | 99       | 98          | 99                  |
| $^3\text{SQR}$                 | 2,49E-05           | 34,7     | 0,5         | 17,2                |
| 0,6-0,8m                       |                    |          |             |                     |
| Modelo                         | Exponencial        | Esférico | Exponencial | Esférico            |
| Efeito pepita ( $C_0$ )        | 0,02               | 20,7     | 1,6         | 19,5                |
| Patamar ( $C_0+C_1$ )          | 0,04               | 56,6     | 3,3         | 39,0                |
| Alcance (a)                    | 320                | 537      | 328         | 230                 |
| $[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$   | 50                 | 37       | 48          | 50                  |
| $R^2$ (%)                      | 97                 | 99       | 97          | 97                  |
| SQR                            | 2,6E-05            | 20,5     | 0,07        | 11,8                |

1-  $C_0/(C_0+C_1)$  = grau de dependência espacial.2-  $R^2$  = coeficiente de determinação.

3- SQR = soma dos quadrados dos resíduos.

profundidades em estudo (Tabela 2), concordando com resultados obtido por SALVIANO et al. (1998), ARAUJO (2002) e SOUZA et al. (2003). Os atributos químicos apresentaram diferentes alcances, nas profundidades de 0,0-0,2m e 0,6-0,8m (Tabela 2), a variável Ca apresentou os maiores alcances (510 e 537m) e a saturação por bases os menores alcances (235 e 230m). Na profundidade de 0,6-0,8m, os alcances foram menores em relação à profundidade de 0,0-0,2m, com exceção do Ca, indicando a maior descontinuidade na distribuição espacial das propriedades do solo na camada mais profunda. O manejo do solo através de aplicação de fertilizantes, calcário e revolvimento do solo, pode ter contribuído para aumentar o alcance, caracterizando uma maior continuidade na distribuição das variáveis na camada mais superficial da área estudada, concordando com estudo de ARAUJO (2002) e SOUZA et al. (2003).

Observando-se a Figura 1 e os mapas de Krigagem (Figuras 3), nota-se que, no compartimento I, a variabilidade é relativamente menor, devido provavelmente ao predomínio da forma linear, já, no compartimento II, que apresenta curvaturas côncavas, convexas e linear, a variabilidade apresentou-se mais elevada. FLORINSKY et al. (2002) e VAIDYA & PAL (2002) encontraram relação de atributos químicos com diferentes posições na paisagem. Resultado

semelhante foi obtido por SOUZA et al. (2003) em solos tropicais. KRAVCHENKO & BULLOCK (2000), estudando a correlação da produção de milho e feijão com posições da topografia, verificaram que 40 % da variabilidade da produção destas culturas foi explicada pelas curvaturas do terreno.

Verifica-se, através dos mapas de krigagem (Figura 3), para os teores de pH, Ca, Mg e V%, uma semelhança nos padrões de ocorrência mostrando que as variáveis apresentaram correlação espacial na área em estudo. Para o entendimento das causas da variabilidade do solo, é preciso conhecer os processos do solo que operam em locais específicos. Esses processos estão muito ligado ao fluxo de água em subsuperfície, que, por sua vez, são controlados pelo relevo. Neste sentido, a compartimentação das formas do relevo revela ser eficiente para identificação e mapeamento de áreas com variabilidade controlada, bem como a transferência de informações.

## CONCLUSÕES

As variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento, utilizando-se técnicas geoestatística.

A identificação de compartimentos da paisagem na área de estudo mostrou-se muito eficiente

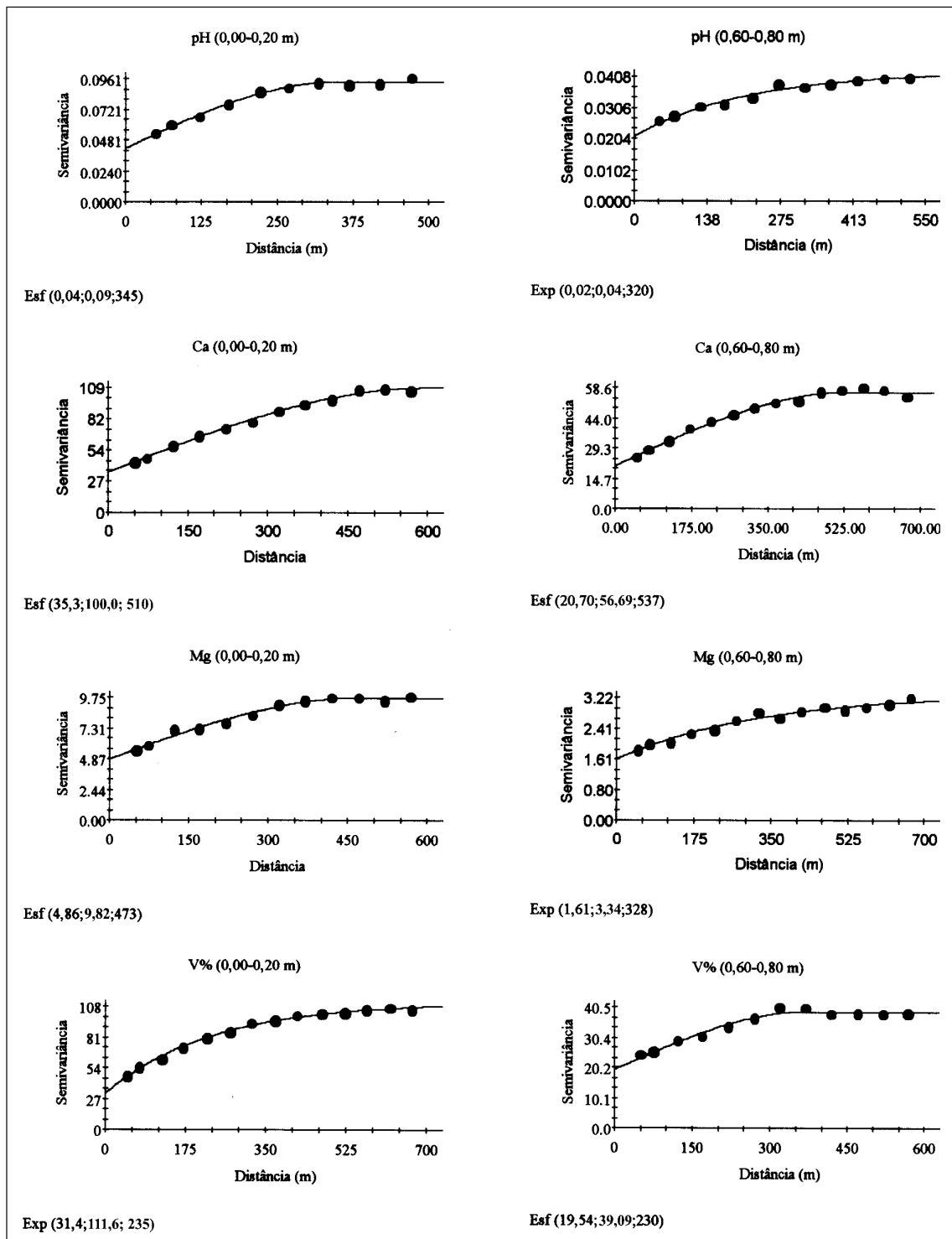


Figura 2 – Semivariogramas das variáveis químicas: pH, cálcio ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ), magnésio ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ) e saturação por bases (V%) nas profundidades de 0,0-0,2m e 0,6-0,8m. Esf e Exp ( $C_0; C_0+C_1$ ; a) é o modelo esférico e exponencial ajustado,  $C_0$  = efeito pepita;  $C_0+C_1$  = patamar; a = alcance.

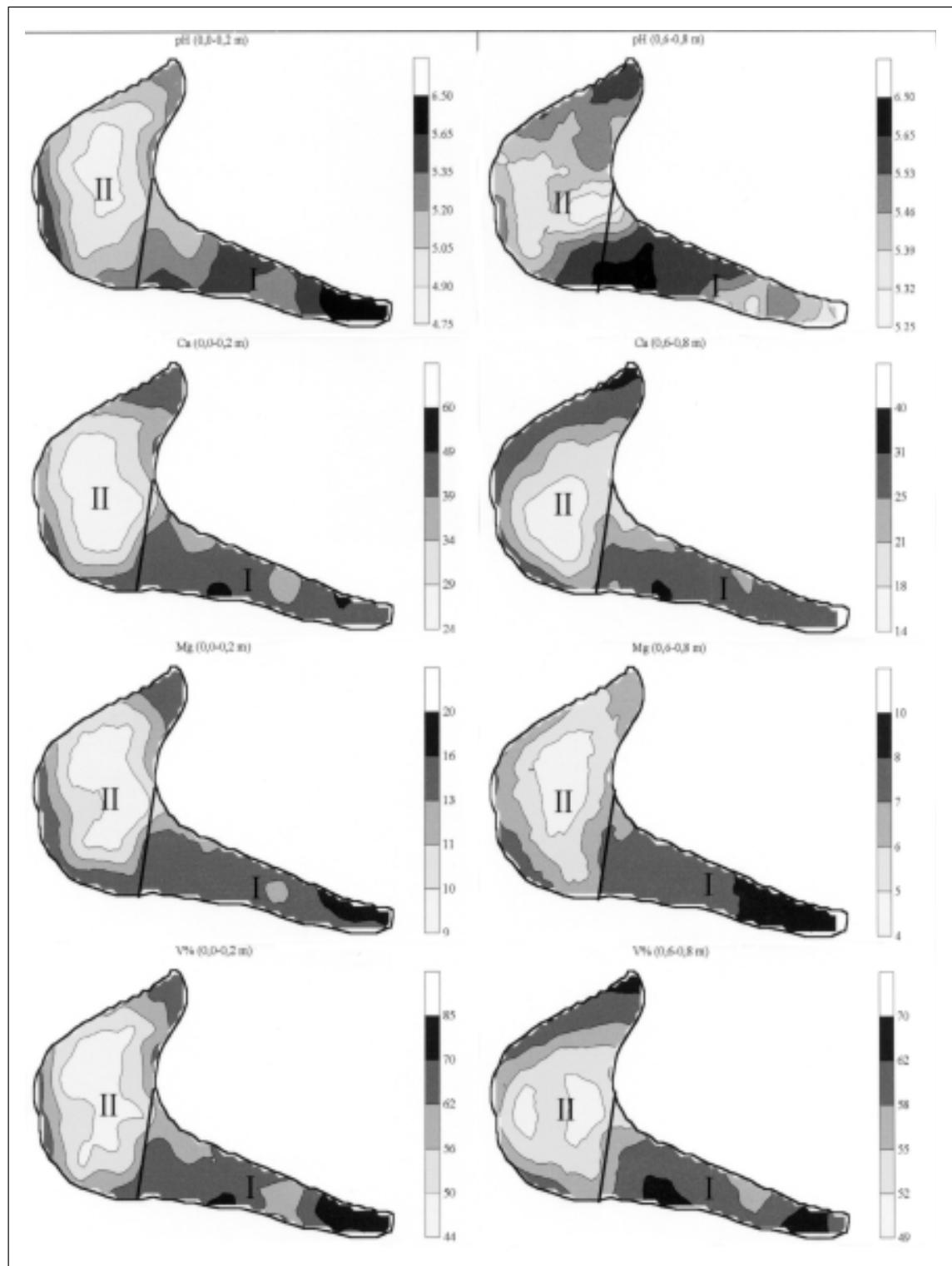


Figura 3 – Distribuição espacial do pH, cálcio ( $\text{mmol}_{\text{c}} \text{dm}^{-3}$ ), magnésio ( $\text{mmol}_{\text{c}} \text{dm}^{-3}$ ) e saturação por bases (V%) nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,6-0,8 m.

químicos estudados. Pequenas variações nas formas do relevo condicionam variabilidade diferenciada para os atributos químicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.1, p.151-157, 1996.
- ARAUJO, A.A.V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo**. 2002. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual de São Paulo.
- BUOL, S.W. et al. **Soil Genesis and classification**. Iowa: Iowa State University, 1997. 527p.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P. et al. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparamos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CARVALHO, M.P. et al. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vila Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, p.695-703, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FLORINSKY, I.V. et al. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v.17, n.3, p.295-311, 2002.
- GANDAH, M. et al. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa and implications for precision agriculture research. **Agricultural Systems**, Oxon, v.63, n.2, p.123-140, 2000.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geoestatistics**. New York : Oxford University, 1989. 561p.
- JOHNSON, G. et al. Spatial and temporal analysis of weed populations using geostatistics. **Weed Science**, Champaign, v.44, n.3, p.704-710, 1996.
- KRAVCHENKO, A.N.; BOLLOCK, D.G. Correlation of corn and soybean yield with topography and soil properties. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, n.1, p.75-83, 2000.
- MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências**, São Paulo, v.19, n.2, p.265-281, 2000.
- McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal Soil Science**, Oxford, v.37, n.3, p.617-639, 1986.
- OLIVEIRA, J.J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.783-789, 1999.
- PREVEDELLO, B.M.S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 1987. 166f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Curso de Pós-graduação em Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo.
- RAIJ, B. van et al. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas : Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- ROBERTSON, G.P. **GS: Geostatistics for the environmental sciences** (version 5.1 for windows). Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SALVIANO, A.A.C. et al. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.
- SILVA, P.C.M.; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.431-436, 2001.
- SILVA, V.R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1013-1020, 2003.
- SILVEIRA, P.M. et al. Amostragem e variabilidade especial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.2057-2064, 2000.
- SOUZA, L.S. et al. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.367-372, 1997.
- SOUZA, L.S. et al. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.77-86, 1998.
- SOUZA, C.K. et al. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.486-495, 2003.
- SURFER for windows. Realese 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. **User's Guide**. New York: Golden software, 1999. 619p.
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. **SAS: system for elementary statistical analysis**. 2.ed. Cary : SAS, 1997. 905p.
- TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal Science**, New Haven, v.263, n.3, p.616-627, 1965.
- VAIDYA, P.H.; PAL, D.K. Microtopography as a factor in the degradation of Vertisols in central India. **Land Degradation Development**, Sussex, v.13, n.5, p.429-445, 2002.

- VIEIRA, S.R. et al. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v.51, n.1, p.1-75, 1983.
- WANG, G. et al. Spatial uncertainty prediction of the topographical factor for the Revised Universal Soil Loss

Equation (RUSLE). **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, n.1, p.109-118, 2002.

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. Cap.2, p.319-344.