

## Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos

### Spatial variability of chemical attributes in Latosol and Argisol

Rafael Montanari<sup>I\*</sup> Gener Tadeu Pereira<sup>II</sup> José Marques Júnior<sup>III</sup>  
Zigomar Menezes de Souza<sup>IV</sup> Renato Junqueira Pazeto<sup>III</sup>  
Lívia Arantes Camargo<sup>III</sup>

#### RESUMO

O trabalho teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos de Latossolos e Argissolos, sob cultivo de cana-de-açúcar em áreas com variações na forma do relevo. No presente estudo utilizou-se duas áreas, sendo uma em Latossolo em pedoforma convexa (158ha) e a outra em Argissolo na pedoforma linear (172ha). Foi coletada amostra de solo em malha na profundidade de 0,00-0,50m, realizando-se análise química de cada ponto amostrado. Os maiores coeficientes de variação e alcances foram observados na pedoforma convexa (Latosolo). Portanto, o Latossolo inserido na pedoforma convexa apresentou maior variabilidade espacial para os atributos químicos em relação ao Argissolo na pedoforma linear. O latossolo inserido pedoforma convexa necessita de maior número de pontos de coleta por apresentar maior variabilidade espacial. Recomenda-se que o intervalo de amostragem seja igual ao alcance da dependência espacial, para associar menor esforço de amostragem com maior representatividade.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*, geoestatística, relação solo-paisagem.

#### ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the spatial variability of chemical attributes of soils cultivated with sugarcane in areas with variations in relief forms. The two soils studied were a Latosol, placed in a convex landform (158ha), and an Argisol, placed in a linear landform (172ha). Soil samples for chemical analysis were collected in a regular grid, at the depth of 0.0-0.5m. The convex landform presented the highest coefficient variation and ranges. Therefore, the

Latosol inserted in the landform convex presented greater spatial variability for chemical attributes than the Argisol in the linear landform. A larger number of points must be sampled in order to represent the spatial variability of the Latosol from the convex landform. We recommend the sampling interval to be equal to the range of the spatial dependency in order to associate a less intensive sampling effort with a higher representativity.

**Key words:** *Saccharum officinarum*, geostatistics, relation-soil-landscape.

#### INTRODUÇÃO

Por ser capaz de promover um manejo localizado e preciso da área cultivada, a agricultura de precisão permite a otimização do uso de insumos agrícolas, redução de custos da lavoura e a possibilidade de aumento da produtividade. Para o seu uso é necessária, numa primeira etapa, uma amostragem de solo adequada, na qual o número de pontos coletados seja suficiente para detectar a variabilidade espacial dos atributos a serem analisados.

O processo da agricultura de precisão inicia-se com o intuito de captar a variabilidade espacial da fertilidade prévia do solo, utilizando para isso uma amostragem programada e criteriosa (COELHO, 2003). De posse de todas as informações obtidas a partir da

<sup>I</sup>Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Av. Brasil, 56, centro, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil. E-mail: montana@fcav.unesp.br. \*Autor para correspondência.

<sup>II</sup>Departamento de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

<sup>III</sup>Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

<sup>IV</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil.

amostragem, parte-se para o tratamento direcionado da fertilidade do solo, aplicando corretivos e fertilizantes a taxas variáveis, buscando sanar problemas que podem vir a depreciar a qualidade e a produtividade da lavoura por falta ou excesso de nutrientes essenciais (MENEGATTI & MOLIN, 2004).

Nos estudos de variabilidade espacial na ciência do solo, o esquema amostral espacial é o fator que mais influencia a eficiência e o custo da pesquisa. Amostragens em malhas adensadas fornecem uma clara visão da variabilidade espacial de uma variável regionalizada, porém, com custos mais elevados quando comparados com esquemas amostrais menos densos (GROENIGEN et al., 1999). Portanto, é preciso aliar um número mínimo de pontos amostrados com uma máxima representação do local amostrado (mínima variância), otimizando o esquema de amostragem e barateando os custos (MONTANARI et al., 2005).

No nordeste do Estado de São Paulo, onde estão sendo implementados programas de agricultura de precisão, Latossolos e Argissolos ocupam grandes áreas sob cultivo de cana-de-açúcar. Latossolos ocupam na paisagem porções de superfícies geomórficas mais antigas em relação aos Argissolos, além de possuírem formas diferentes. Enquanto o Latossolo apresenta uma forma convexa (meia laranja), o Argissolo ocupa uma forma mais linear (LEPSCH et al., 1977, BUOL et al., 1997). Portanto, em associação com Latossolos, os Argissolos ocupam tipicamente posições mais rejuvenescidas da paisagem ou menos estáveis em relação às posições ocupadas por Latossolos. Os Argissolos são menos evoluídos e possuem maior tendência à heterogeneidade em contraste com os Latossolos, que são mais evoluídos e tendem à homogeneidade. Nesse sentido haveria necessidade de um maior número de amostras para caracterizar os atributos químicos dos Argissolos. Porém, trabalhos regionais indicam que as formas lineares condicionam menor variabilidade espacial de atributos químicos, em relação às formas côncavas e convexas (SOUZA et al., 2004; MONTANARI et al., 2005).

O trabalho teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos de Latossolos e Argissolos, sob cultivo de cana-de-açúcar em áreas com variações na forma do relevo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em duas áreas da Usina Santa Adélia, localizadas no município de Jaboticabal, nordeste do Estado de São Paulo, inseridas no Planalto Ocidental Paulista. As coordenadas

geográficas são de 21° 17' de latitude sul e 48° 10' de longitude oeste (área de Latossolo) e 20° 56' de latitude sul e 48° 56' longitude oeste (área de Argissolo), com altitude média de 600m. O clima é o mesotérmico com inverno seco (Cwa) pelo critério de classificação climática de Köppen.

Os materiais de origem dos solos estão relacionados ao arenito do grupo Bauru, formação Adamantina. Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho distrófico típico e Argissolo Vermelho eutrófico abruptico, segundo EMBRAPA (1999), denominados como Latossolo e Argissolo, respectivamente. As regiões foram percorridas para identificação dos modelos da paisagem, e foram escolhidas duas áreas sob o cultivo de cana-de-açúcar com o mesmo histórico de manejo, caracterizadas por possuírem pedoformas distintas, segundo classificação de TROEH (1965), convexa para o Latossolo e linear para o Argissolo.

As áreas foram estaqueadas com auxílio de teodolito e posteriormente os pontos foram georreferenciados com GPS. Os solos foram amostrados com trado em uma malha regular, com uma amostra a cada 3ha, na profundidade de 0,0-0,5m, sendo esta a profundidade de interesse para o manejo de atributos químicos da cultura de cana-de-açúcar na região. Coletou-se um total de 53 amostras (3 subamostras para cada ponto amostrado) para o Latossolo, em uma área de 158ha e 57 amostras (3 subamostras para cada ponto amostrado) para o Argissolo, em uma área de 172ha.

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2mm de abertura. Na caracterização química do solo, foi determinada a acidez ativa (pH em CaCl<sub>2</sub>), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o potássio (K) e o fósforo disponível (P) segundo procedimentos descritos por BITTENCOURT et al. (1987). Com base nos resultados das análises químicas, foi calculada a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%).

Os valores dos atributos químicos do solo foram analisados por meio de análises estatísticas descritivas e de técnicas geoestatísticas. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997). Cada atributo do solo foi submetido ao ajuste de modelos matemáticos na definição de semivariogramas pelo programa GS+ (ROBERTSON, 1998). A análise do grau de dependência espacial dos atributos foi realizada segundo CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada entre 25% e 75%, e fraca quando for maior que 75%.

A estatística clássica assume que a variação dos atributos do solo dentro das unidades amostrais não são correlacionadas e que a média das amostras é o melhor estimador dos atributos do solo em qualquer local na unidade amostral. Portanto, determinou-se também o número de subamostras necessárias para compor uma amostra composta e estimar o valor médio das variáveis, usando a fórmula descrita por CLINE (1944):

$$n = \left( \frac{t_{\alpha} \cdot CV}{D} \right)^2 \quad (1)$$

em que  $n$  é o número de amostras necessário para estimar a média  $\mu$ , dentro de uma tolerância  $D$ ;  $t_{\alpha}$  é a estatística  $t$  de Student, referente a um determinado nível de probabilidade  $\alpha$  (95%);  $CV$  é o coeficiente de variação e  $D$  é a porcentagem de variação em torno da média (5%).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade para o Mg e V% nas duas classes de solo estudadas e para a variável CTC no Argissolo (Tabela 1). Os valores da média e mediana, para todas as variáveis, estão próximos, mostrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria

próximos de zero na classe do Argissolo, já para o Latossolo os dados estão mais assimétricos. A variável P apresentou uma assimetria acentuada, com valores da média e mediana afastados, devido provavelmente a sua baixa mobilidade no solo. Mais importante é que a normalidade e os semivariogramas apresentem patamares bem definidos e a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989). CORÁ et al. (2004), estudando a variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cultivo de cana-de-açúcar, encontraram normalidade somente para a CTC.

Os valores dos atributos químicos apresentaram grande amplitude nas duas classes de solo estudada. O P apresentou teores que variaram desde 0,4 até 9,7 mg dm<sup>-3</sup> para o Latossolo e 0,14 até 5,0 mg dm<sup>-3</sup> para o Argissolo, portanto, os teores de P variaram de baixos a altos. Este mesmo comportamento foi observado para os demais atributos estudados (Tabela 1). Segundo COELHO (2003), esta grande amplitude de valores revela os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores dos atributos como base para a tomada de decisão sobre a realização do manejo químico do solo, podendo ocorrer áreas com quantidades excessivas de fertilizantes ou com déficit.

A variabilidade do solo medida pelo coeficiente de variação (CV), de acordo com a

Tabela 1 – Estatística descritiva para os atributos pH, cálcio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), magnésio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), fósforo (mg dm<sup>-3</sup>), potássio (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), capacidade de troca catiônica (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e saturação por bases (%) na profundidade de 0,0-0,5m em diferentes classes de solo.

| Atributo            | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | <sup>1</sup> CV | Assimetria | Curtose | <sup>2</sup> d     | <sup>3</sup> NS |
|---------------------|-------|---------|--------|--------|-----------------|------------|---------|--------------------|-----------------|
| -----Latossolo----- |       |         |        |        |                 |            |         |                    |                 |
| pH                  | 5,30  | 5,40    | 3,90   | 6,00   | 7,82            | 1,30       | -0,93   | 0,13               | 10              |
| Ca                  | 27,30 | 26,10   | 14,00  | 53,90  | 34,25           | 0,95       | 1,20    | 0,14               | 189             |
| Mg                  | 7,30  | 6,90    | 0,90   | 21,40  | 56,42           | 1,30       | 0,95    | 0,06 <sup>ns</sup> | 514             |
| P                   | 2,30  | 1,90    | 0,36   | 9,71   | 66,71           | 1,07       | 4,49    | 0,19               | 718             |
| K                   | 2,60  | 2,57    | 0,80   | 6,80   | 51,74           | 0,91       | 1,15    | 0,24               | 432             |
| CTC                 | 72,50 | 69,10   | 5,43   | 126,56 | 20,77           | 1,07       | 2,54    | 0,16               | 70              |
| V%                  | 50,65 | 51,00   | 30,90  | 70,80  | 16,84           | -0,33      | -0,13   | 0,08 <sup>ns</sup> | 46              |
| -----Argissolo----- |       |         |        |        |                 |            |         |                    |                 |
| pH                  | 5,32  | 5,26    | 4,70   | 6,30   | 6,01            | 1,22       | 0,75    | 0,16               | 6               |
| Ca                  | 29,36 | 27,91   | 15,92  | 45,63  | 25,05           | -0,37      | 0,40    | 0,15               | 101             |
| Mg                  | 5,01  | 4,73    | 0,55   | 12,54  | 52,35           | -0,29      | 0,88    | 0,08 <sup>ns</sup> | 442             |
| P                   | 1,36  | 1,21    | 0,14   | 5,20   | 64,21           | 1,76       | 4,53    | 0,17               | 666             |
| K                   | 2,51  | 2,55    | 0,85   | 5,09   | 49,76           | -0,19      | 0,83    | 0,23               | 400             |
| CTC                 | 66,63 | 67,94   | 50,52  | 83,82  | 12,95           | 0,02       | 0,81    | 0,07 <sup>ns</sup> | 27              |
| V%                  | 54,12 | 53,70   | 38,80  | 77,80  | 16,05           | 0,18       | 0,55    | 0,10 <sup>ns</sup> | 42              |

<sup>1</sup>CV = coeficiente de variação; <sup>2</sup>d = teste de normalidade, <sup>ns</sup>não significativo pelo teste Kolmogorov-Smirnov; <sup>3</sup>NS = número de subamostras pela fórmula de cline (número mínimo de amostras).

classificação de WARRICK & NIELSEN (1980), revelou-se baixa (< 12%) para o pH nas duas classe de solos estudadas (Tabela 1). As variáveis CTC e V% apresentaram média variação (12 – 24%) e os maiores coeficientes de variação (> 24%) foram encontrados para os atributos Ca, Mg, K e P em ambas classes de solos estudadas.

Alguns autores têm associado valores altos de CV a uma maior variabilidade dos atributos do solo, sendo necessário um maior número de amostras para representar o valor médio (LIBARDI et al., 1986; SOUZA et al.; 1997). Esta dispersão aleatória dos dados em torno da média leva a uma maior distorção da curva de normalidade ou gaussiana, o que se confirma pelos altos valores do coeficiente de variação e conseqüentemente do desvio padrão. Assim, observa-se que os valores do coeficiente de variação são maiores para todos os atributos do Latossolo em relação ao Argissolo (Tabela 1). Estes dados são corroborados pelo cálculo da necessidade do número de pontos realizados pela fórmula de CLINE (1944), no qual para todos os atributos químicos o número de pontos recomendados foi menor para o Argissolo (Tabela 2).

O maior número de pontos no Latossolo em relação ao Argissolo está relacionado à ocorrência em pedoformas convexa e linear, respectivamente. Também reforça a idéia que na pedoforma convexa as condições de fluxo de água superficial e lateral condiciona ambientes específicos que interferem nos processos pedogenéticos, favorecendo a maior variabilidade espacial dos atributos do solo (FRANZEN et al., 1998). Estudos desenvolvidos em áreas sob cultivo de cana-

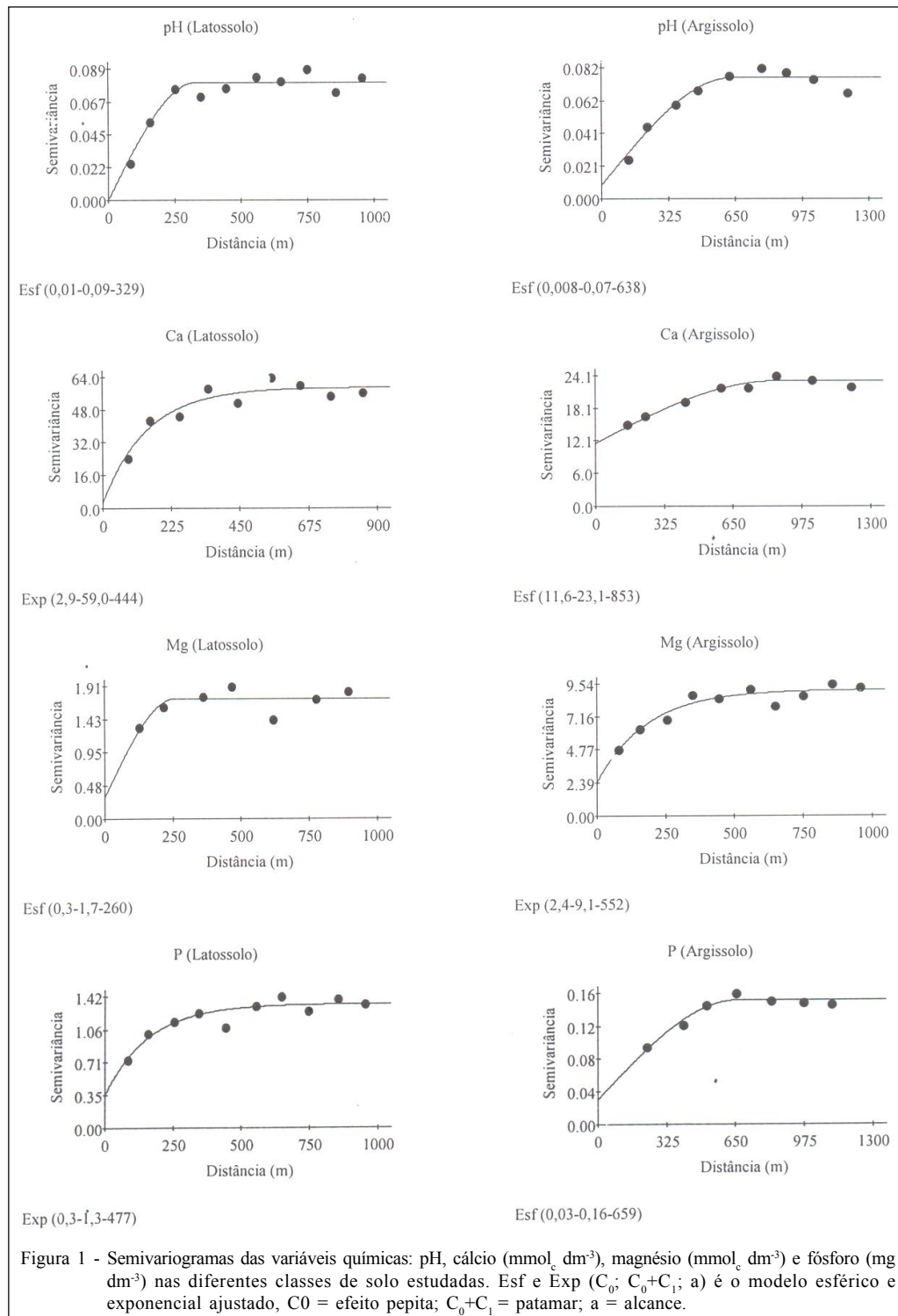
de-açúcar têm mostrado que há necessidade de um maior número de pontos para caracterizar a variabilidade espacial de atributos de Latossolos localizados em áreas côncavas e convexas em relação aos solos localizados em pedoforma linear (SOUZA et al., 2003; SOUZA et al., 2004; MONTANARI et al., 2005).

Normalmente, o uso da estatística clássica requer maior número de amostras do que a geoestatística, para estimar o atributo em estudo com determinada precisão. Por isso, SOUZA et al. (1997) preconizam que 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. Segundo CARVALHO et al. (2002), a amostragem casual simples poderia ser evitada, visto que existe a probabilidade de coletar amostras em locais similares, duplicando dessa forma a informação.

Mesmo que os valores de CV sejam moderados, este não é um bom indicador da variabilidade espacial de atributos do solo, pois podem ocorrer no campo valores extremamente altos ou baixos. Assim, os resultados da análise geoestatística demonstram que todos os atributos químicos apresentaram dependência espacial para as duas classes de solos (Tabela 2 e Figuras 1 e 2). Os dados dos atributos pH, Mg, K, CTC e V% do Latossolo ajustaram-se ao modelo esférico e os dados dos atributos Ca e P ao modelo exponencial. Já no Argissolo os atributos pH, Ca, P, CTC e V% ajustaram-se ao modelo esférico e os atributos Mg e K ao modelo exponencial. Várias pesquisas de variabilidade espacial de atributos do solo têm mostrado os modelos esférico

Tabela 2 – Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis pH, cálcio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), magnésio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), potássio ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), capacidade de troca catiônica ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e saturação por bases (%) nas diferentes classes de solo estudada.

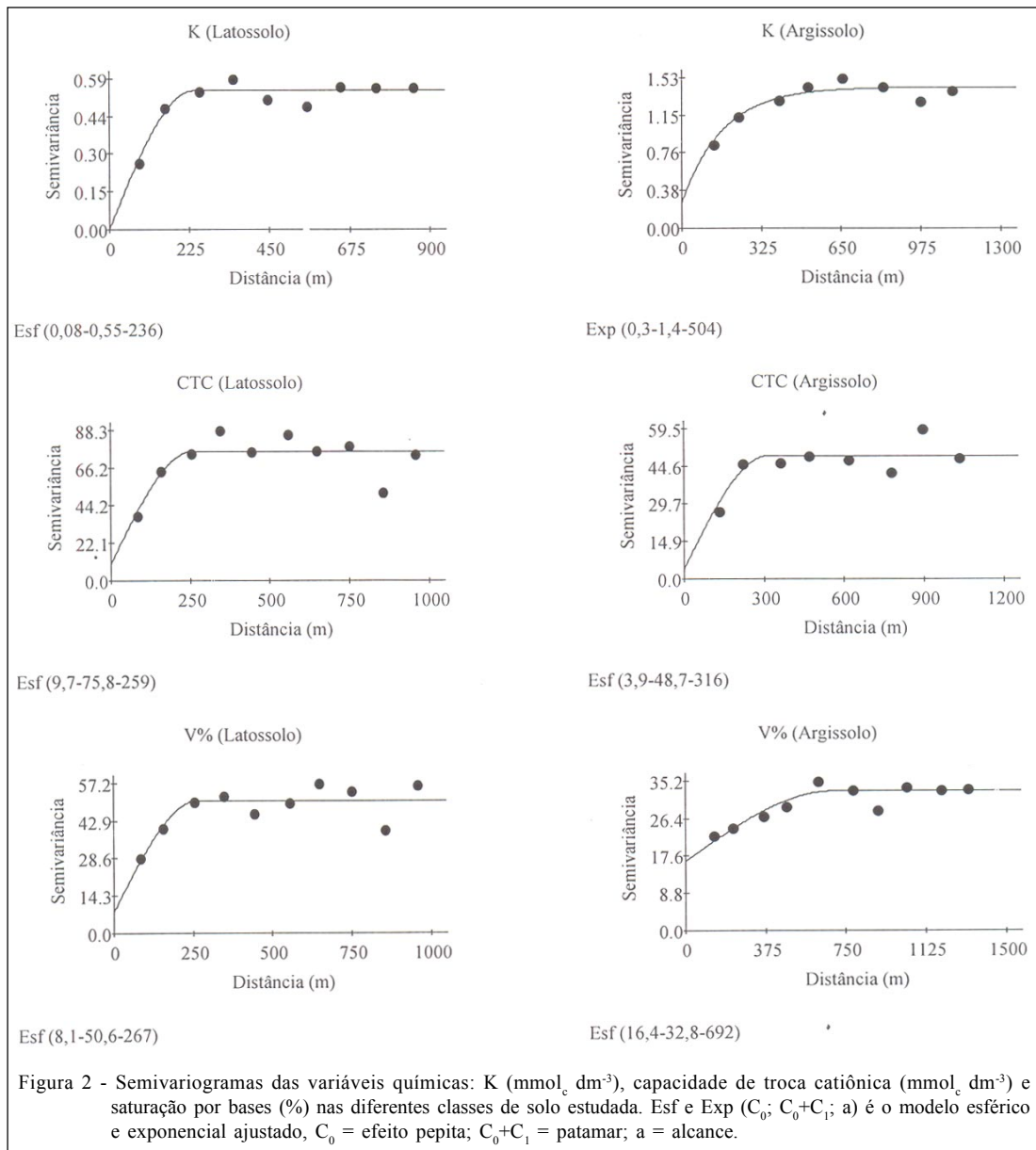
| Atributo            | Modelo      | Efeito pepita ( $C_0$ ) | Patamar ( $C_0+C_1$ ) | Alcance (m) (a) | $R^2$ | $[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$ |
|---------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|-------|------------------------------|
| -----Latossolo----- |             |                         |                       |                 |       |                              |
| pH                  | Esférico    | 0,01                    | 0,08                  | 329             | 92    | 11                           |
| Ca                  | Exponencial | 2,9                     | 59,0                  | 444             | 88    | 5                            |
| Mg                  | Esférico    | 0,3                     | 1,7                   | 260             | 61    | 18                           |
| P                   | Exponencial | 0,4                     | 1,3                   | 477             | 85    | 25                           |
| K                   | Esférico    | 0,08                    | 0,6                   | 236             | 90    | 15                           |
| CTC                 | Esférico    | 9,7                     | 75,8                  | 259             | 68    | 13                           |
| V%                  | Esférico    | 8,1                     | 50,6                  | 267             | 70    | 16                           |
| -----Argissolo----- |             |                         |                       |                 |       |                              |
| pH                  | Esférico    | 0,008                   | 0,07                  | 638             | 94    | 11                           |
| Ca                  | Esférico    | 11,6                    | 23,1                  | 853             | 96    | 50                           |
| Mg                  | Exponencial | 2,4                     | 9,1                   | 552             | 90    | 25                           |
| P                   | Esférico    | 0,03                    | 0,2                   | 659             | 94    | 19                           |
| K                   | Exponencial | 0,3                     | 1,4                   | 504             | 88    | 18                           |
| CTC                 | Esférico    | 3,9                     | 48,7                  | 316             | 71    | 8                            |
| V%                  | Esférico    | 16,4                    | 32,8                  | 692             | 81    | 50                           |



e exponencial como de maior ocorrência (SOUZA et al., 2003; SOUZA et al., 2004; GREGO & VIEIRA, 2005; MONTANARI et al., 2005).

A análise da relação  $C_0/(C_0+C_1)$  mostrou grau de dependência espacial forte para todos os

atributos químicos nas duas classes de solo, com exceção das variáveis Ca e V% no Argissolo, que apresentou grau de dependência espacial moderado. Portanto, as distribuições dos atributos químicos no espaço não são aleatórias, uma vez que todos



apresentaram valores moderados ou fortes para o grau de dependência espacial.

Quando se compara Latossolo com Argissolo, observa-se que o Argissolo tem maior alcance para todos os atributos químicos estudados (Tabela 2). Portanto, observa-se uma maior continuidade espacial no Argissolo, provavelmente devido à forma da paisagem no qual as classes de solos estão inseridas, reforçando a hipótese da influência da forma da paisagem no condicionamento da variabilidade dos atributos do solo e concordando com os resultados obtidos por SOUZA et al. (2006), que observaram maiores alcances em áreas com

pedoforma convexa quando em comparação com áreas com pedoforma linear.

O conceito de Latossolo implica que os atributos do solo são homogêneos tanto em relação ao perfil, quanto em relação a extensão horizontal. Porém, a amplitude entre valores máximos e mínimos (Tabela 1) mostra que o Latossolo assim como o Argissolo, não pode ser considerado homogêneo, uma vez que foi encontrado dependência espacial para todos os atributos químicos estudados (Tabela 2).

As diferenças da variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes classes de solo e pedoformas estão provavelmente associadas às

variações nas formas do relevo, que condicionam fluxo de água diferenciado, sendo estes os principais responsáveis pelas maiores variabilidades na pedofoma convexa (Latossolo) em relação à forma linear (Argissolo). Resultados semelhantes também foram encontrados por SOUZA et al. (2003), SOUZA et al. (2004) e MONTANARI et al., (2005), ao estudar a influência da forma da paisagem sob cultivo de cana-de-açúcar.

## CONCLUSÃO

Os maiores CV e alcances foram observados na pedofoma convexa (Latossolo). Portanto, o Latossolo inserido na pedofoma convexa apresentou maior variabilidade espacial para os atributos químicos em relação ao Argissolo na pedofoma linear.

O Latossolo inserido pedofoma convexa necessita de maior número de pontos de coleta por apresentar maior variabilidade espacial. Recomenda-se que o intervalo de amostragem seja igual ao alcance da dependência espacial, para associar menor esforço de amostragem com maior representatividade.

## REFERÊNCIAS

- BUOL, S.W. et al. **Soil genesis and classification**. 4.ed. Ames: Iowa State University, 1997. 527p.
- BITTENCOURT, V.C. et al. Determination of available P, K, Ca and Mg sugarcane in tropical soils by extraction with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 N and KCl 1 N. In: CONGRESS OF ISST, 16., 1987, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: USP, 1987. p.1175-1186.
- 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 preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CLINE, M.G. Principles of soil sampling. **Soil Science**, Baltimore, v.58, n.2, p.275-288, 1944.
- COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R.F et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. V.1, p.249-290.
- 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 de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FRANZEN, D.W. et al. Topography-based sampling compared with grid sampling in the northern great plains. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.11, n.3, p.364-370, 1998.
- GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.
- GROENIGEN, van J.W. et al. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. **Geoderma**, Amsterdam, v.87, n.3-4, p.239-259, 1999.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561p.
- LEPSCH, I.F. et al. Soil-landscape relationships in an area of the Occidental Plateau of São Paulo, Brazil: I. Geomorphic surface and soil mapping units. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.41, n.1, p.104-109, 1977.
- LIBARDI, P.L. et al. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p.85-90, 1986.
- MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.126-134, 2004.
- MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.69-77, 2005.
- ROBERTSON, G.P. **GS+: geostatistics for the environmental sciences** (version 5.1 for windows). Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. **SAS: system for elementary statistical analysis**. 2.ed. Cary, 1997. 905p.
- 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, C.K. et al. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.486-495, 2003.
- SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.
- SOUZA, Z.M. et al. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.829-836, 2006.
- TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal Science**, New Haven, v.263, n.3, p.616-627. 1965.
- 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.