



VARIABILIDADE ESPACIAL DE PH NO SOLO E SUA RELAÇÃO COM CÁLCIO E MAGNÉSIO

MARCELO LUIZ CHICATI, MARCOS RAFAEL NANNI, EVERSON CEZAR, FELIPE DERBOCIO FABRO

Universidade Estadual de Maringá

RESUMO

O conhecimento da variabilidade de condições dos atributos químicos dos solos tem grande importância na agricultura moderna. Diversos trabalhos demonstram que essa variabilidade não ocorre ao acaso, podendo caracterizar condições de correlação ou dependência espacial. Em razão disso, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a ocorrência de dependência espacial do pH e sua correlação com os cátions cálcio e magnésio. O trabalho foi realizado em uma Área de Proteção Ambiental no noroeste do estado do Paraná, com coleta de amostras de solo georreferenciadas em uma grade de pontos espaçados em 500 metros. As amostras foram submetidas à análises químicas de rotina e os resultados avaliados estatisticamente quanto a ocorrência de normalidade na distribuição. A análise geoestatística foi realizada por meio da confecção de semivariogramas e mapas de distribuição tridimensional das variáveis. A presença de distribuição normal foi evidenciada para todas as variáveis em questão. Os semivariogramas foram ajustados pelos melhores modelos possíveis, demonstrando a existência de dependência espacial para cada variável isoladamente, porém, negando a ocorrência da mesma para as relações cruzadas. Tal comportamento também pode ser comprovado nos mapas tridimensionais. Sendo assim, não existe dependência espacial para as relações entre pH e cálcio ou pH e magnésio.

Palavras-chave: Dependência espacial, Geoestatística, Solo.

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PH AND ITS RELATIONSHIP WITH CALCIUM AND MAGNESIUM

SUMMARY

The knowledge of the variability conditions of chemical soil attributes has great importance in modern agriculture. Several studies show this variability does not occur at random and may characterize conditions of correlation or spatial dependence. Because that, the objective of this work was to characterize the occurrence of spatial dependence of pH and its correlation with the calcium and magnesium cations. The work was carried out in an Environmental Protection Area in the northwestern of Paraná state, with collection of soil samples georeferenced in a grid of points spaced at 500 meters. The samples were subjected to chemical routine analysis and the results evaluated statistically as the occurrence of normality in distribution. The geostatistical analysis was performed by the manufacture of semivariograms and three-dimensional maps of variables distribution. The normal distribution presence was evident for all the variables in question. The semivariograms were adjusted by the best possible models, demonstrating the existence of spatial dependence for each variable separately, however, denying the occurrence of the same for cross relations. Such behavior could also be shown in three-dimensional maps. Therefore, there is not spatial dependence for relations between pH and calcium or pH and magnesium.

Key-words: Spatial dependence, Geostatistics, Soil.

INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna, o planejamento de esquemas de amostragem para gerenciamento de técnicas de manejo e conservação do solo é extremamente importante. Para tanto, o conhecimento da variação dos atributos químicos dos solos assume um papel primordial. Pela própria natureza dos fatores responsáveis pela sua formação, os solos apresentam heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente. Este fato ocorre devido ao próprio material originário não ser uniforme em toda a sua extensão, ou seja, o material de origem não sofrer o processo de intemperização de forma homogênea e contínua (Buol et al., 1997).

Um dos principais fatores responsáveis por baixas produtividades agrícolas, ou até mesmo aumento dos custos de produção, é a acidez do solo. No Brasil, a grande maioria dos solos apresenta acidez alta, sendo esta responsável por sensíveis oscilações de produtividade. Segundo Alcarde (1985) os materiais que podem ser usados na correção da acidez dos solos são aqueles que contêm como “constituintes neutralizantes” ou “princípios ativos”, óxidos, hidróxidos, carbonatos e silicatos de cálcio e/ou de magnésio. Segundo Orlando Filho e Rodella (1983), cerca de 80 a 85% do erro total nos resultados usados na recomendação de fertilizantes e corretivos podem ser atribuídos à amostragem no campo e de 15 a 20% podem ser decorrentes do trabalho de laboratório. Daí a necessidade de um bom plano amostral.

A amostragem de solo é um dos procedimentos mais importantes, em qualquer programa de pesquisa na área, pois de nada valem análises químicas sofisticadas e extremamente rigorosas de suas variáveis, se as amostras coletadas não são representativas da área em estudo (Chung et al., 1995). Diversos estudos de características químicas e físicas do solo e de plantas demonstram que a variabilidade não ocorre ao acaso, mas apresenta correlação ou dependência espacial (Souza et al., 1998). Outros autores (Vieira et al., 1983; Trangmar et al., 1985) também mostram, através das técnicas geoestatísticas, que a variabilidade do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial.

As técnicas geoestatísticas, com base na construção de semivariogramas, permitem a descrição da dependência espacial das propriedades dos solos (Vieira, 2000). O estudo da variabilidade espacial pode ser feito

em grandes áreas, abrangendo diversos tipos de solos, e em áreas menores (Souza et al., 1998). Segundo Silva e 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, conseqüentemente, 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).

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo a avaliação da dependência espacial do pH em uma área experimental, considerando para tanto a relação do mesmo com seus “neutralizantes” (cálcio e magnésio) dentro de uma grade de amostragem regular geograficamente referenciada.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho situou-se no município de Querência do Norte, mais precisamente na porção paranaense da Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná. Nesta APA foi delimitada uma área piloto para realização do estudo, localizada pelas coordenadas UTM, no fuso 22 SW, 7428 – 7438 km e 238 – 252 km do Equador, com área total de 59,5 km².

A malha de pontos de coleta de amostras em campo, também chamada Grade de Amostragem, foi definida por meio de fotointerpretação, com definição das unidades fisiográficas da área de estudo e também a observação das imagens orbitais disponíveis para melhor caracterização do uso das terras, segundo EMBRAPA (1996). Esta análise prévia admitiu a necessidade de coleta de 77 pontos, espaçados entre si com equidistância de 500 metros.

Para a execução dos trabalhos cartográficos, utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas SPRING (INPE, 2004). Segundo Câmara et al. (1998), o SPRING é um sistema de geoprocessamento orientado-a-objeto, com múltiplas funções e algoritmos para processamento de bancos de dados georreferenciados. Após a definição da grade de amostragem, foi realizada a coleta dos dados em campo com a utilização de Sistema de Posicionamento Global (GPS), por meio

de um receptor modelo Geoexplorer 3 com modo de correção diferencial, possibilitando posicionamento com erro menor que 5 metros. Em cada ponto localizado foram coletadas amostras dos horizontes superficial e subsuperficial dos solos, em profundidades variadas, de acordo com a característica observada no perfil de cada ponto. Entretanto, para este trabalho, apenas as informações constantes nos horizontes diagnósticos foram analisadas.

As amostras foram coletadas com trado do tipo Holandês e acondicionadas posteriormente, em sacos plásticos de 5 litros, permanecendo fechados até sua chegada ao laboratório de análises físicas e químicas. Cada amostra coletada foi seca ao ar e submetida à peneira de 2 mm (TFSA). Os grupamentos texturais dos solos foram definidos conforme EMBRAPA (2006). Matéria orgânica (MO), acidez ativa e de reserva, pH e capacidade de troca catiônica (CTC) foram determinados segundo EMBRAPA (1997). Bases trocáveis (cálcio, magnésio, potássio) (S) e os valores de saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) foram determinados conforme EMBRAPA (1997). Depois de obtidos os dados de pH em KCl e os níveis de cálcio e magnésio, os mesmos foram submetidos a análises estatísticas, tanto descritivas como exploratórias, visando a verificação da dependência espacial, além da interpolação dos mesmos por meio de “krigagem”, sendo avaliados de maneira inter-relacionada pH x Ca e também pH x Mg.

Para o estudo das variáveis houve a necessidade de se fazer à conversão dos dados utilizando logaritmo neperiano para que os valores tendessem a normalidade. A partir dos dados convertidos foi realizada a estatística descritiva por meio do software estatístico STATISTICA 6.0, sendo neste realizado o teste de distribuição de normalidade (Shapiro-Wilk). A partir deste procedimento foi possível estabelecer a real distribuição dos dados na área e sua propensão à existência de tendência quanto à variabilidade espacial. O refinamento dos dados foi realizado na seqüência visando a identificação de valores discrepantes (Libardi et al., 1996) e possíveis correções quanto a problemas de tendência.

Ao assumir a estacionaridade intrínseca, a continuidade espacial foi analisada mediante a elaboração de semivariogramas (McBratney; Webster, 1986). A função semivariância foi calculada pela seguinte equação:

$$\gamma(h) = (1/2N(h)) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2$$

onde, $N(h)$: número de pares de valores medidos $Z(s_i)$, $Z(s_i + h)$ separados pelo vetor h .

Por se tratar de um estudo que envolve variabilidade espacial, esperou-se um valor baixo como início do semivariograma, denominado “nugget effect” (C_0) que permanecesse crescente até um valor máximo denominado alcance, que representa também o limite da dependência espacial. Para cada variável distinta foram construídos os semivariogramas utilizando-se os modelos esférico, exponencial e gaussiano com auxílio do software Variowin (Pannatier, 1996).

Os melhores semivariogramas foram escolhidos mediante a validação cruzada executada por meio de “krigagem” ordinária para obtenção de $Z^*(x_i)$, além da modelagem de mapas tridimensionais obtidos com o uso do software Surfer (Golden Software, 2002). A correlação espacial entre a distribuição do pH e os teores tanto de cálcio como de magnésio no solo foi avaliada pela construção de semivariogramas cruzados, também pelo software Variowin. Para estes, o escalonamento utilizado foi a covariância das variáveis analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva relativa aos dados originais de pH, e teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva para os dados de pH, cálcio e magnésio

Parâmetros	pH	Ca	Mg
Mediana	1.280934	0.392042	0.29267
Mínimo	0,95551	-2.30259	-3.50656
Máximo	1.686399	2.91398	1.867176
Quartil Inferior	1.163151	-0.30111	-0.94161
Quartil Superior	1.360977	1.568616	0.924259
Desvio Padrão	0.141882	1.225964	1.335833
Assimetria	0.713383	-0.05999	-0.68106

Estes dados foram analisados e demonstraram a existência de normalidade em sua distribuição (Figura 1), com ocorrência de simetria evidente, podendo ser comprovada pelos baixos coeficientes de assimetria e variância, além de desvio padrão obtido demonstrar-se pequeno.

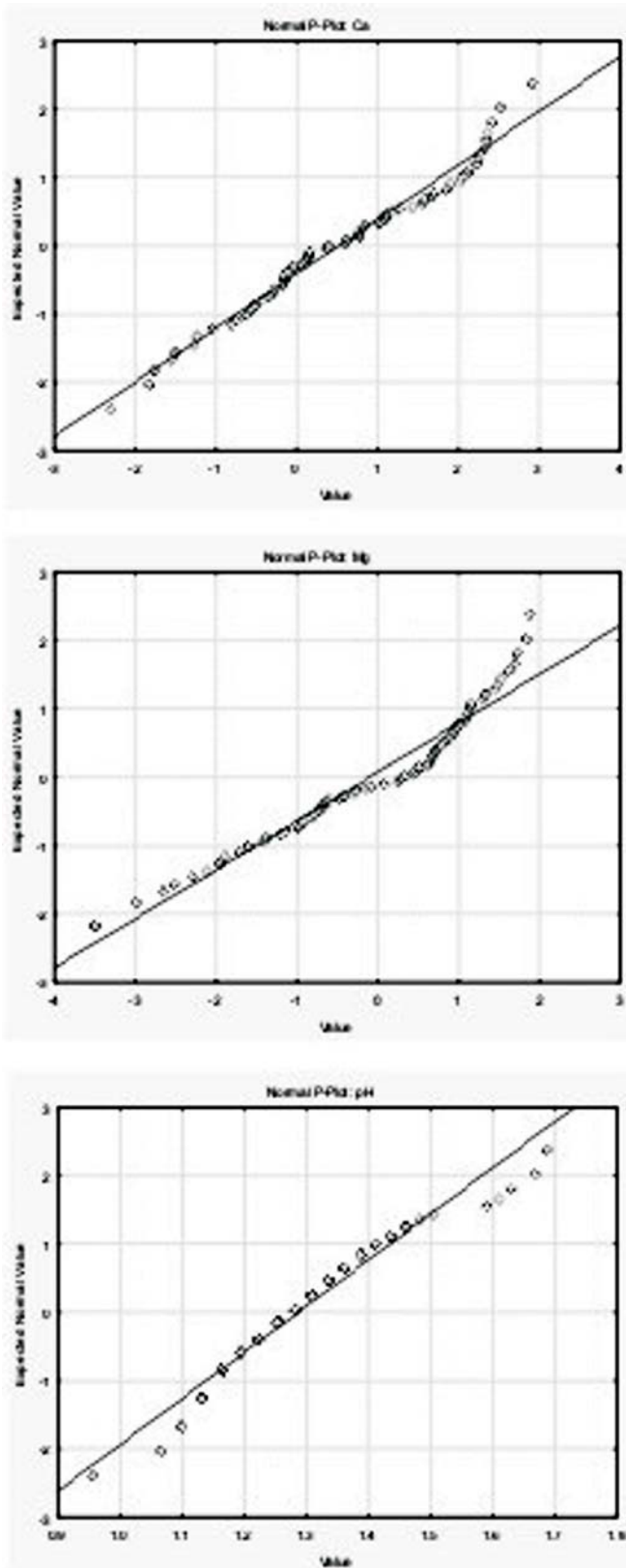


Figura 1. Distribuição de normalidade para cálcio, magnésio e pH respectivamente

Por meio dos dados obtidos nestes testes preliminares foram feitas as inferências necessárias para se-

qüência dos trabalhos, principalmente em relação à presença de condições favoráveis quanto à normalidade e simetria. A partir deste ponto foram iniciados os procedimentos para elaboração dos semivariogramas que caracterizaram a presença de dependência espacial das variáveis em questão, corroborando Vieira et al. (1983).

A distribuição espacial da grade regular de pontos a cada 500 metros foi responsável pela ocorrência de alcances consideravelmente elevados, o que tornou possível a caracterização da homogeneidade da área de estudo para as variáveis em questão, o que vem a comprovar as observações de Vieira et al., 1983; Trangmar et al., 1985, Souza et al., 1998.

Por meio de opção de seis semivariogramas por validação cruzada, foi realizado o escalonamento pela variância das amostras, obtendo-se um semivariograma ajustado pelo modelo esférico, para a variável cálcio, um ajustado pelo modelo gaussiano para a variável magnésio e por fim outro semivariograma ajustado pelo modelo exponencial para a variável pH (Figura 2).

Os semivariogramas cruzados que estimaram a relação entre as variáveis demonstraram resultado negativo em ambos os casos (pH relacionado à distribuição de cálcio e pH relacionado à distribuição de magnésio), refutando a possibilidade de existência de dependência espacial entre a condição do pH em campo e a presença dos cátions analisados.

A produção de mapas tridimensionais (Figura 3) demonstrou a existência de comportamentos semelhantes entre a amplitude de cálcio e magnésio, porém, não teve a mesma representatividade quando relacionada à amplitude do pH em relação às anteriores, considerando-se a distribuição destas variáveis no espaço amostral. A observação desses mapas possibilita a diferenciação dos padrões de distribuição em campo das variáveis estudadas, evidenciando o comportamento não dependente entre as mesmas.

Fica claro que o cálcio apresenta distribuição semelhante ao magnésio na totalidade da distribuição do terreno, com exceção de uma pequena porção da área onde os dois refletem um comportamento antagônico. Pontos amostrais demonstrando valores acentuados de pH foram representados no mapa desta variável, correspondendo à variabilidade aleatória das médias relativas, fato que comprova os referenciais da estatística clássica, conforme Trangmar et al. (1985).

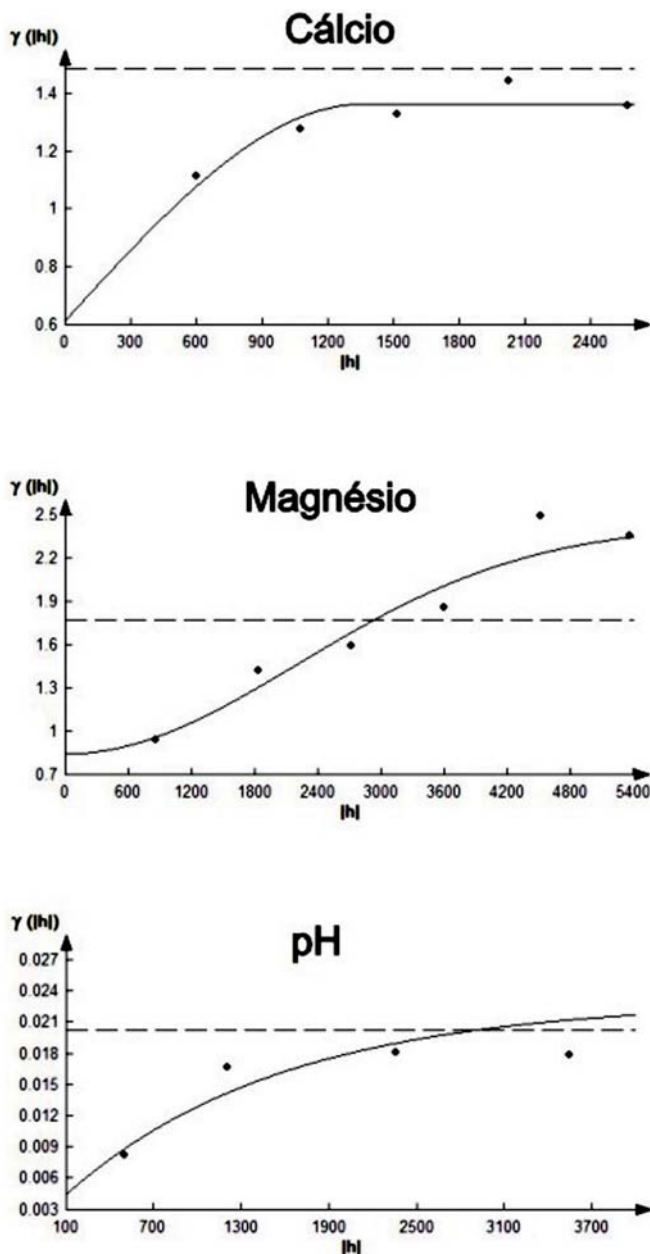


Figura 2. Semivariogramas escalonados para cálcio (Pepita: 0,615; Alcance: 1352), magnésio (Pepita: 0,841; Alcance: 5400) e pH (Pepita: 0,005; Alcance: 4440)

CONCLUSÕES

1. A análise geoestatística demonstra a existência de dependência espacial para as variáveis pH, cálcio e magnésio.
2. Os semivariogramas cruzados produzidos não evidenciam a ocorrência de dependência espacial para as relações, tanto entre pH e cálcio como entre pH e magnésio.
3. A distribuição espacial das variáveis cálcio e magnésio não apresenta relação com o pH.

Agropecuária Técnica, v. 30, n. 2, p. 90–95, 2009

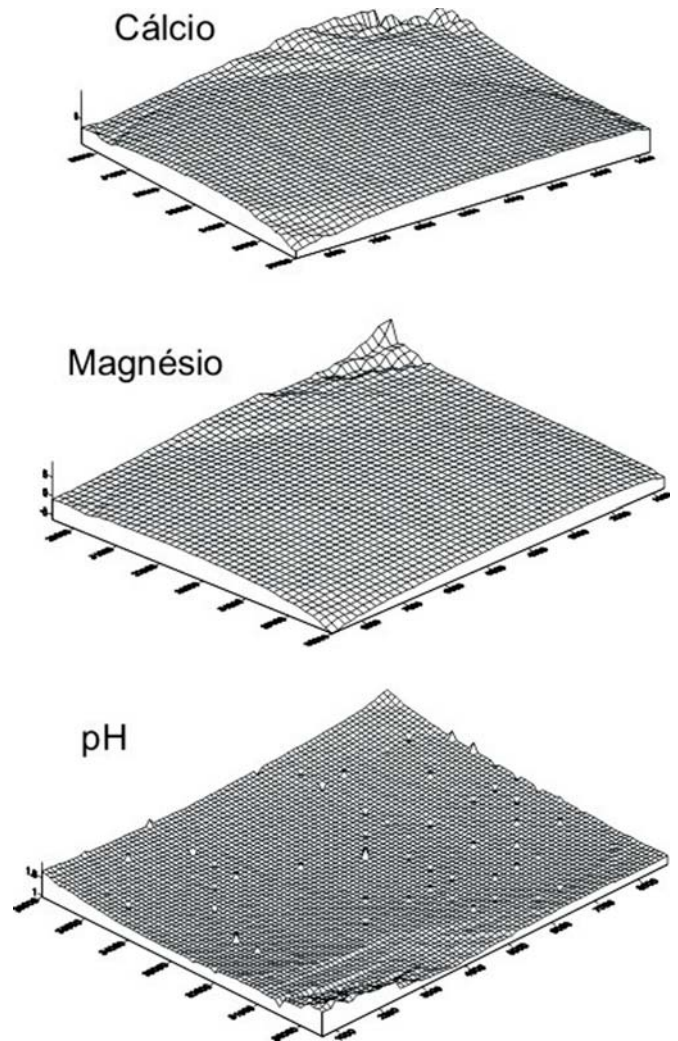


Figura 3. Distribuição espacial do cálcio, magnésio e pH na área experimental

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa ao primeiro autor (Proc. n. 134501/2004-7) e ao segundo autor (Proc. n. 310948/2006-1).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características de quantidade, In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. 1985, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fundação Cargill, 1985. p. 97-119.
- BUOL, S. W; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P. A. Soil Genesis and classification. Iowa: Iowa State University, 1997. 527p.

- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistemas de Informações geográficas – aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa/SPI, 1998. cap. 2, p. 13-29.
- CHUNG, C. K.; CHONG, C. 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.
- EMBRAPA. SNLCS. Normas e critérios para levantamentos pedológicos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1996. 94p.
- EMBRAPA – SNLCS. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- EMBRAPA – CNPS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306p.
- GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows – User's guide Release 8.0. USA, 2002. 340p.
- INPE. Manuais do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING). São José dos Campos: INPE, 2004.
- LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 20, n. 01, p. 1-12, 1996.
- MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, v. 37, n. 01, p. 617-639, 1986.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/Planaçúcar, 1983. p. 155-178.
- PANNATIER, Y. Variowin: software for spatial data analysis in 2D. New York: Springer-Verlag, 1996. 90p.
- PREVEDELLO, B. M. S. Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta. 1987. 166 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- 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*, v. 5, n. 3, p. 431-436, 2001.
- SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIERA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 01, p. 77-86, 1998.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, N. 01, p. 45-93, 1985.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.
- VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C.; MARTINS, A. L. M.; BOTOLETTO, N. Mapeamento de atributos de solo e planta usando geoestatística. In: BALASTREIRE, L. A. O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 165-169.