

# Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB<sup>1</sup>

## Spatial variability of phosphorus in soil from irrigated perimeter Engenheiro Arcoverde, PB

Armindo Bezerra Leão<sup>2</sup>, Antonio Ricardo. S. de Andrade<sup>3</sup>, Lucia Helena G. Chaves<sup>4</sup>,  
Iêde de Brito Chaves<sup>5</sup> e Hugo O. C. Guerra<sup>6</sup>

**Resumo** - Este trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, Condado, PB, em uma área de 42 ha, com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do fósforo disponível em um Neossolo Flúvico. O solo foi amostrado utilizando uma malha irregular com 53 pontos distribuídos ao acaso, distanciados de 100 m entre si, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, levado ao laboratório e analisado com respeito ao teor de fósforo. Os dados foram submetidos às análises: estatística descritiva, geoestatística e interpolação por krigagem. Na área predominam altos teores de fósforo. O coeficiente de variação indicou variabilidade moderada para o fósforo nas três profundidades. Observou-se um forte grau de dependência espacial. Os alcances de dependência espacial para o fósforo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade foram menores quando comparados àqueles referentes à camada de 40-60 cm. Estes resultados demonstraram maior descontinuidade na distribuição espacial do fósforo nas camadas superficiais. O manejo do solo alterou a dependência espacial do fósforo na camada superficial de forma a aumentar a sua variabilidade espacial em relação à camada mais profunda.

**Termos para indexação:** geoestatística, semivariograma, krigagem

**Abstract** - This work was conducted at the Engenheiro Arcoverde Irrigated Perimeter located in Condado-Paraíba, Brazil, aiming to evaluate the phosphorus spatial variability in a Fluvic Neosolo. The 42 ha area was sampled on an irregular grid with 53 randomized distributed soil spots, separated by 100m. The soil samples were extracted at 0-20, 20-40 and 40-60 cm depth intervals and then they were carried to the laboratory and analyzed with respect to phosphorus. The data was analyzed using descriptive and geostatistic procedures. The contour maps were obtained by interpolation and kriging. In general, the phosphorus levels of the area were high. The variation coefficients showed medium phosphorus variability at the three soil depth intervals studied. Strong spatial dependence for the phosphorus was found. The spatial dependence range was lower at the 0-20 and 20-40cm than in de 40-60 cm depth interval. The geo-statistical analyses showed a high spatial variability discontinuity at the surface layer, due to the soil and water management in the area.

**Key words:** geo-statistics, semivariogram, kriging

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 24/10/2005; aprovado em 03/12/2006.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando, Dep. de Eng. Agrícola, CTRN/UFCEG, rua José do Precipio, 407, CEP:58.109-543, Campina Grande, PB e-mail: armindoleao@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Pesq. Doutor Bolsista DRC/CNPq, DEAg/CTRN/UFCEG, C. Grande - PB, e-mail: arsa@fca.unesp.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, D.Sc., Profa. do Dep. de Eng. Agrícola, CTRN/UFCEG, C. Grande - PB, e-mail: lucia@deag.ufpb.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. do DSER/CCA/UFPB, Areia - PB, e-mail: iedebchaves@hotmail.com

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo, D.Sc., Prof. do Dep. de Eng. Agrícola, CTRN/UFCEG, C. Grande - PB, e-mail: hugo\_carvalho@hotmail.com

## Introdução

A prática da irrigação tem contribuído durante séculos para o desenvolvimento da atividade agrícola nas regiões semi-áridas, no entanto, quando mal manejada, torna-se nociva e contribui de forma negativa para preservação das características químicas e físicas dos solos, refletindo na produtividade dos mesmos e na economia da região. Uma análise adequada das propriedades químicas do solo é de relevante importância na estratégia do manejo de irrigação, adubação, prevenção e recuperação de áreas agrícolas.

O fósforo é o macronutriente exigido em menor quantidade pelas plantas, podendo ser encontrado nos solos nas formas orgânica e inorgânica, sendo variável a proporção em que elas ocorrem; geralmente a quantidade de fósforo orgânico aumenta com o aumento da matéria orgânica e diminuição do pH do solo (Coelho, 1983). O conhecimento da dinâmica do elemento, sua distribuição e seu aproveitamento encerram uma complexidade de fatores inerentes a cada local de amostragem o que leva a dificuldade de sua avaliação. Um dos fatores que contribui para tal complexidade pode ser atribuída a variabilidade do solo. Essa variabilidade é consequência de complexas interações dos fatores e processos de formação do solo. Além destes, práticas de manejo do solo e das culturas são causas adicionais de variabilidade (Dobermann & George, 1994; Corá, 1997).

O estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo tem grande importância não só na escolha de área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e interpretação de resultados, mas também no levantamento e classificação de solos e nos esquemas de uso racional de fertilizantes. Portanto, o conhecimento da variabilidade espacial do fósforo no solo pode ser determinante para melhor administração no diagnóstico de áreas com deficiência desse elemento e para adoção quantitativa da adubação. Nesse contexto a geoestatística se apresenta como uma ferramenta adicional, que leva em consideração a distribuição espacial das amostras, permitindo definir a correlação espacial entre elas, podendo esta ser verificada através das semivariâncias (Carvalho et al., 2003; Zimback, 2001). O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial dos teores de fósforo disponível (P) presentes no Neossolo Flúvico, em área que foi irrigada por superfície.

## Material e Métodos

O trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, localizado no município de Condado, PB, sob administração do Departamento Nacional de Obras Contra Seca – DNOCS. Este perímetro apresenta uma área

de cultivo de 348 ha, no entanto, a unidade experimental correspondeu a 42 ha abrangendo as áreas dos lotes 22, 23, 24, 26, 28 e 39. Estes lotes localizam-se a 06° 54' de latitude Sul e 37° 35' de longitude Oeste, em relevo plano e área de Neossolo Flúvico (Embrapa, 1999). Na área experimental, foi retirada amostras do solo de 53 pontos, distribuídos ao acaso, distanciados de 100m entre si. Para cada ponto foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, onde foram submetidas à análise de fósforo disponível (P) de acordo com Embrapa (1997).

A variabilidade do atributo químico estudado, ou seja, teor de fósforo no solo, foi inicialmente avaliada pela análise exploratória dos dados calculando-se a média, valores máximo e mínimo, mediana, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e desvio padrão. Essa variabilidade, de acordo com os valores de coeficiente de variação (CV), foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980) em baixa (CV < 12%), média (12 < CV < 62%) e alta (CV > 62%). A aderência ou não dos dados à distribuição normal foi verificada aplicando-se o teste de Komolgorov – Smirnov (KS) ao nível de 5% de probabilidade (Costa Neto, 1997). Para número de amostras (n) maior do que 50, calcula-se KS pela equação:

$$KS = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)}{2n}}$$

em que KS = diferença máxima admitida entre a curva experimental e a teórica; p = nível de significância escolhido e n = número de dados amostrados

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

em que  $\gamma^*$  é o valor da semivariância estimada a partir dos dados experimentais;  $N(h)$  é o número de pares de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$  (Couto et al., 2000). O gráfico  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$  é denominado semivariograma. Modelos matemáticos como esférico e exponencial foram ajustados aos semivariogramas permitindo visualizar a natureza da variação espacial da variável estudada. Após este ajuste foram definidos os coeficientes dos modelos teóricos para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita ( $C_0$ ), o patamar, C, e o alcance da dependência espacial “a” (Andrade, 2002).

Na elaboração dos mapas de distribuição espacial do fósforo, nas três profundidades, foi utilizado o programa Surfer 7.0 com base nos valores estimados por krigagem, realizada com o programa GS+.

## Resultados e Discussão

Os maiores teores de fósforo foram encontrados na camada superficial do solo tendo variado de médio (11-30 mg.dm<sup>-3</sup>) a alto (>30 mg.dm<sup>-3</sup>) (Emater, 1979). Nas camadas subsuperficiais os teores do elemento variaram de baixo (< 10 mg.dm<sup>-3</sup>) a alto, no entanto, os valores das médias e das medianas, nas três profundidades estudadas são classificados como alto (Tabela 1), discordando do que foi observado por Cavalcante et al. (1999), Silva & Chaves (2001) e Chaves et al. (2004). A grande amplitude de variação dos teores de fósforo mostra os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos mesmos como base para a recomendação de fertilizantes, ou seja, em alguns locais, a dose recomendada será subdimensionada; em outros, será adequada e, em outros poderá haver aplicação em excesso do fertilizante. Os valores elevados dos teores de fósforo, principalmente na camada superficial a amplitude de variação desses teores, podem ser atribuídos as freqüentes aplicações de fertilizantes ao longo do tempo na área estudada, sem que houvesse um bom manejo do solo em relação a estas aplicações. O fato do fósforo mover-se no solo por difusão, o que lhe acarreta pouca mobilidade, também contribui para o seu acúmulo no solo.

Os valores da média e da mediana para o fósforo foram semelhantes apenas para a camada de 40-60 cm de profundidade, com a mediana apresentando valor menor que a média. Isto pode indicar que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (Cambardella et al., 1994).

Seguindo a classificação do CV, proposta por Warrick & Nielsen (1980) observou-se que os teores de fósforo nas três camadas apresentaram moderada variabilidade, ou seja,  $12 < CV < 62\%$  (Tabela 1), corroborando com os resultados encontrados por Corá et al. (2004). Segundo Wollenhaupt et al. (1997), mesmo que os valores do CV sejam moderados, este não é necessariamente um bom indicador da variabilidade espacial dos atributos do solo, haja vista a ocorrência de locais no campo com valores extremamente altos ou baixos.

Os coeficientes de assimetria e curtose (Tabela 1) são apresentados para comparação com a distribuição normal, para a qual esses coeficientes têm valores de 0 e

3 respectivamente. Pelo exame dos valores destes coeficientes, nota-se que a distribuição de teores de P é diferente da normal, nas três profundidades em estudo. O uso destes coeficientes é importante para uma possível transformação de dados. O teste de aderência de Kolmogorov-Sminorv (KS) aplicado a um nível de significância de 5% confirmou a rejeição de hipótese de normalidade dos dados, sendo necessário à transformação dos dados por meio da função logarítmica.

**Tabela 1** - Resumo da estatística descritiva dos teores de fósforo disponível (P), nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm

Parâmetros Estatísticos	Profundidade (cm)		
	0-20	20-40	40-60
	P (mg.dm <sup>-3</sup> )		
Valor Mínimo	12,9	9,91	6,61
Valor Máximo	122,3	103,91	93,11
Média (Ma)	80,68	57,78	45,34
Mediana (Md)	93,10	61,11	40,01
Coef. Variação (CV%)	38,04	46,45	56,06
Coef. Curtose (Cr)	-0,44	-1,82	-1,72
Coef. Assimetria (Cs)	-0,82	-0,11	0,17

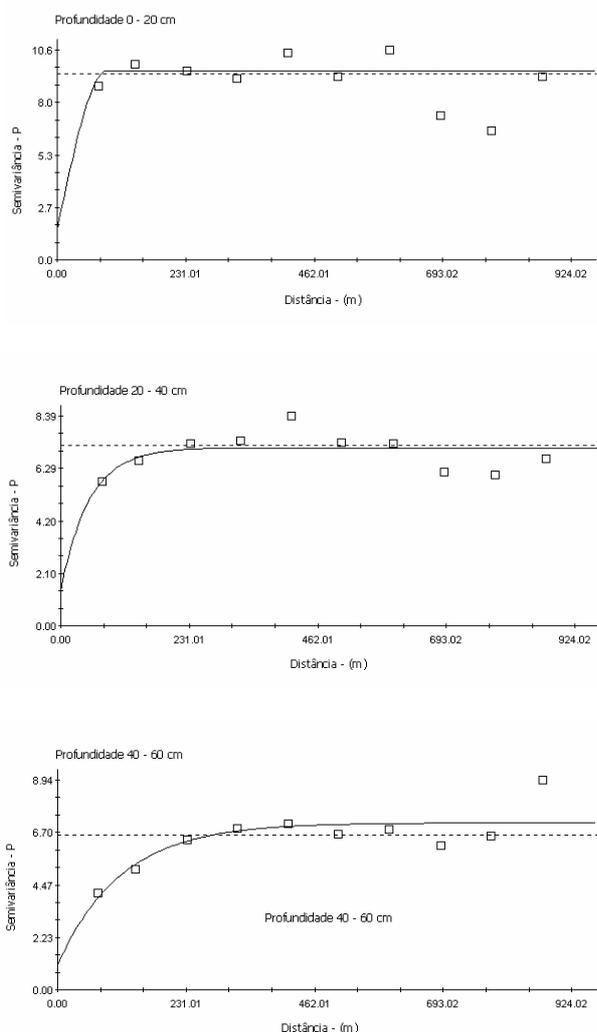
A análise geoestatística, efetuada por meio do semivariograma, mostrou que todos os atributos do solo estudado apresentaram dependência espacial, uma vez que nenhum deles apresentou efeito pepita puro, o que determinaria uma distribuição aleatória dos seus dados. Os semivariogramas médios dos dados transformados (independentes da direção da distância h) e isotrópicos (variabilidade idêntica em todas as direções) para o fósforo nas três profundidades são apresentados na Figura 1.

As estimativas dos parâmetros ajustados aos três modelos teóricos mais freqüentes (esférico, exponencial e gaussiano) foram verificadas com o procedimento de autovalidação do erro reduzido, cujos valores ideais são média = 0 e variância = 1 (Andrade, 2002). Os modelos que apresentaram menores erros da estimativa foram os modelos escolhidos (Tabela 2), para as três profundidades. Pelo exame de semivariogramas constata-se que os teores de fósforo apresentam estrutura de dependência espacial. Os modelos de semivariograma teórico isotrópico esférico "SPh" e exponencial "EXP" foram os que permitiram melhores ajustes para os dados de fósforo na profundidade de 0-20 cm e nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm, respectivamente, da mesma forma que foi observado por Corá et al. (2004).

O alcance (Ao) de dependência espacial para os teores de fósforo na profundidade de 40-60 cm foi maior que aqueles referentes às profundidades de 0-20 cm e 20-

40 cm (Tabela 2). Isso demonstra que na camada mais profunda do solo a homogeneidade dos teores de fósforo ocorre em uma área de maior raio, e que nas camadas superficiais há maior descontinuidade na distribuição espacial dos teores de fósforo.

Como o estudo foi realizado em área sob Neossolos Flúvicos, os quais, em geral, não apresentam como característica intrínseca a homogeneidade dos atributos do solo ao longo de perfil, devido, principalmente, aos seus fatores de formação, esperava-se maior descontinuidade espacial dos teores de fósforo, inclusive na camada mais profunda. No entanto, o fato desta camada estar menos sujeita aos efeitos do manejo do solo realizado na superfície, a homogeneidade dos teores de fósforo nela foi maior. Segundo Trangmar et al. (1985), o alcance define o raio máxi-



**Figura 1** - Semivariogramas experimentais e teóricos do P disponível nas três profundidades

**Tabela 2**-Parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais do P disponível, nas três profundidades estudadas

Profundidade (cm)	Parâmetros					Modelo
	$C_0$	$C+C_0$	$C$	$C/(C+C_0)100$	$A_0$ (m)	
0-20	15,30	91,40	76,10	83,26	90,00	SPh
20-40	14,20	70,70	56,50	79,91	51,00	EXP
40-60	10,40	71,18	60,78	85,39	113,00	EXP

mo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem.

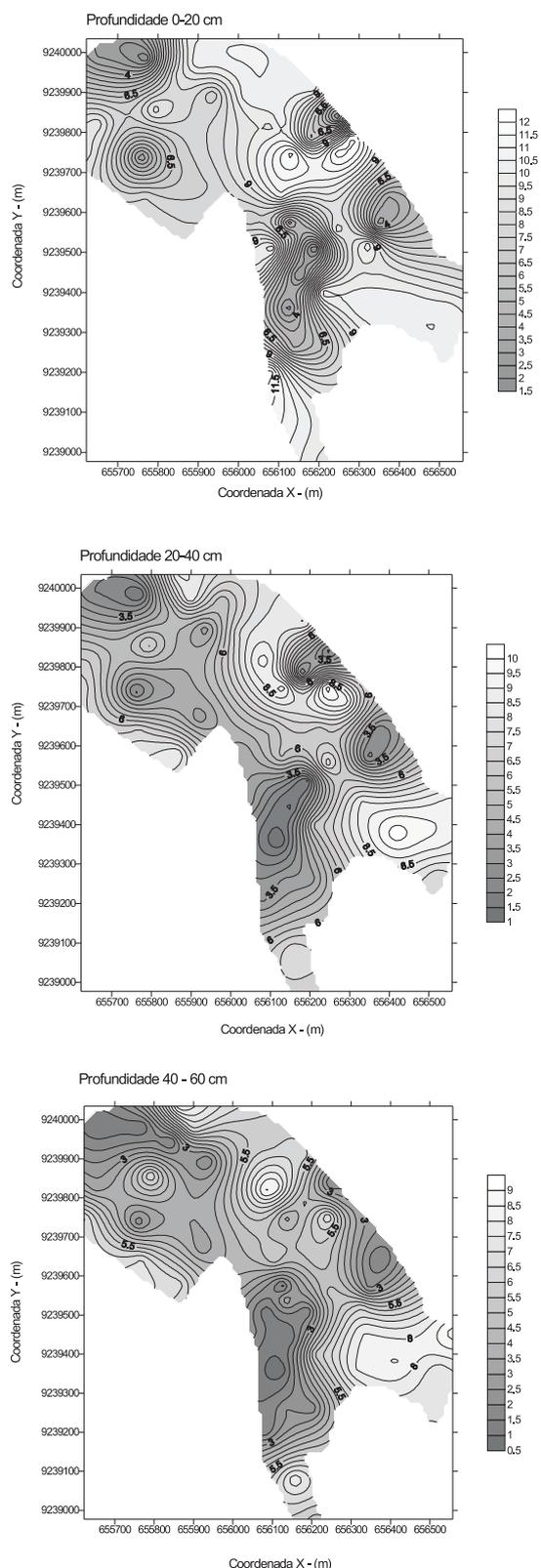
O efeito pepita ( $C_0$ ) reflete a descontinuidade entre valores separados por distâncias menores do que o usado no intervalo de amostragem, assim, quanto maior for o seu valor, mais fraca é a dependência espacial do atributo em questão, como foi observado para os teores de fósforo na camada superficial do solo (Tabela 2).

Na análise da intensidade de dependência espacial, que objetiva facilitar a comparação do grau de dependência espacial, utilizou-se critérios sugeridos por Cambardella et al. (1994) modificados por Zimback (2001), ou seja, o índice de dependência espacial foi calculado pela razão entre a semivariância espacial ( $C$ ) e o patamar ( $C+C_0$ ), dado em porcentagem. No caso do fósforo, o índice de dependência espacial em relação ao patamar foi classificada como forte nas três profundidades estudadas, podendo ter sido influenciada por propriedades intrínsecas do solo como mineralogia e textura (Carvalho et al. (2003). Resultados semelhantes foram obtidos por Salviano et al. (1998), Carvalho et al. (2003) e Corá et al. (2004), ao passo que Cavalcante (1999) e Sanchez (1999) apresentaram-no como moderada dependência espacial.

Os resultados da aplicação da estatística e da geoestatística mostram que a variabilidade espacial dos teores de fósforo presentes no solo pode ser facilmente detectada na área em questão.

Como pode ser observado na Figura 2, os mapas de contorno para o fósforo foram produzidos por interpolação dos valores calculados para as três profundidades, usando os modelos de semivariograma, obtidos na Figura 1 e, o método de estimação de krigagem ordinária (Vieira et al., 1983).

De acordo com os mapas de isolinhas (Figura 2), pode-se observar que os maiores teores de fósforo disponível encontram-se na camada superior do solo, que eles diminuem com a profundidade e que não há um comportamento homogêneo na distribuição dos mesmos, sugerindo a existência de diferentes zonas de manejo na área.



**Figura 2** - Mapa de isolinhas obtido por meio de krigagem dos dados do fósforo disponível nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm

## Conclusões

1. Os teores de fósforo encontrados na área foram altos
2. A análise geoestatística mostrou que nas três profundidades de solo estudadas, os teores de fósforo apresentaram uma forte dependência espacial
3. A maior descontinuidade na distribuição espacial do fósforo foi encontrada nas camadas superficiais do solo
4. O manejo do solo e da água, efetuado ao longo do tempo, provavelmente alterou a dependência espacial dos teores de fósforo na camada superficial do solo.

## Referências Bibliográficas

- ANDRADE, A. R. S. de. **Aplicação da teoria fractal e da geoestatística na estimativa da condutividade hidráulica e do espaçamento entre drenos**, 2002. 198 f. Tese (Doutorado) - UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of American Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.
- CAVALCANTE, E. G. S. **Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes condições de uso e manejo, em Selvíria (MS)**, 1999. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP), *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, n.4, p.695-703, 2003.
- CHAVES, L. H. G.; TITO, G. A.; CHAVES, I. B.; LUNA, J. G.; SILVA, P. C. M. Propriedades químicas do solo aluvial da ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.431-437, 2004.
- COELHO, M. G. Variabilidade espacial das características físicas e químicas em um solo salino sódico. *Ciência Agrônoma*, v.14, p.149-156, 1983.
- CORÁ, J. E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. 1997, 104f. Tese (Doutorado) - Michigan State University, East Lansing.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERBALDO, J. M. G. 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*, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 468p.

- COUTO, E. G.; KLAMT, E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.129-139, 2000.
- DOBERMANN, A.; GEORGE, T. Field-scale soil fertility variability in acid tropical soils. In: TRANSACTIONS WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15, Acapulco. **Anais...**, Viena:International Society of Soil Science, 1994. p. 610-627.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA - CNPS. Documento, 1).
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção da Informação, 1999. 412p.
- EMATER. **Sugestões de adubação para o Estado da Paraíba; 1ª aproximação**. João Pessoa: EMATER - PB, 1979. 56p.
- PANNATIER, Y. **Variowin**: software for spatial data analysis in 2D. New York: Springer, 1996. 91p.
- SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea*-L em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, 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**, v.5, n.3, p.431-436, 2001.
- SANCHEZ, R. B. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de latossolos em diferentes superfícies geomórficas sob cultivo do café, em Patrocínio, MG**. 1999. 79 f. Monografia (Bacharelado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spacial studies of soil properties. **Advance Agronomy**, v.38, p.45-93, 1985.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, p.1-75, 1983.
- 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 Press, 1980. p.319-344.
- WOLLENHAUPT, N.C.; MULLA, D.J.; CRAWFORD, C.A.G. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: PIERCE, J.P.; SADLER, E.J. (Ed.) **The site-specific management for agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy - Crop Science Society of America - Soil Science Society of America, 1997. p.19-53.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre Docência) - UNESP, Botucatu.