

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO E ANÁLISE ESPACIAL EM DADOS DE pH, EM BOTUCATU-SP¹

Luciana Corpas Bucene

Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. CP 6011, CEP 13083-970. E-mail: luciana.bucene@agr.unicamp.br

Célia Regina Lopes Zimback

Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP. CP 237, CEP 18603-970. E-mail: czimback@fca.unesp.br

1 RESUMO

O termo Modelo Numérico do Terreno (MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Podem ser utilizados para modelar informações relativas às propriedades do solo, como pH do solo. Nesse sentido, a análise espacial oferece uma complexa quantidade de ferramentas que fornecem estimativas para locais não amostrados, servindo-se de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Algumas técnicas de interpolação de dados são comumente utilizadas para interpolação de dados pontuais para locais não amostrados. Neste trabalho, comparou-se dois métodos de interpolação de dados, através de técnicas de geoestatísticas, avaliando o método da Krigagem e o método do Quadrado do Inverso da Distância, utilizando-se do interpolador Interpol, ambos disponíveis no SIG IDRISI, para a obtenção do Modelo Numérico do Terreno. Os resultados indicam que o método pela Krigagem é mais acentuado por representar uma superfície contínua e com boa distribuição, numa estrutura de semivariância que permitiu um ajuste cuja correlação entre valores observados e preditos foi de 0.9001, sugerindo uma possibilidade de estimar valores não amostrados de forma confiável.

UNITERMOS: Interpolação de dados, geoestatística, quadrado do inverso da distância e Krigagem.

BUCENE, L. C., ZIMBACK, C. R. L. COMPARISON OF INTERPOLATION AND SPACIAL ANALYSIS METHOD IN PH SOIL DATA, IN BOTUCATU-SP

2 ABSTRACT

The Digital Elevation Model (DEM) term has been used for a greatness quantitative representation which varies continuously in the space. It can be used for information modeling related to soil properties such as pH soil. Thus, spatial analysis offers a complex number of tools which provide estimates for non-sampled places through Geographical Information System (GIS). Some data interpolation techniques have been usually used for punctual data in non-sampled places. In this work

Recebido em 30/05/2002 e aprovado para publicação em 15/01/2003

¹Trabalho desenvolvido junto ao Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas – *GEPAG*. Extraído da dissertação de Mestrado da primeira autora, apresentada à FCA/UNESP
DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2003v08n1p21-28>

two data interpolation methods have been compared using geostatistics techniques in order to evaluate the Kriging and Inverse Distance Weighting methods. The Interpol interpolator has been used to have the Digital Elevation Model, both available at SIG IDRISI. The results showed that the Kriging method is more accentuated due to a continuous surface representation and good distribution. The 0.9001 correlation between estimated and observed data has been obtained suggesting a reliable data estimating possibility for non-sampled values.

KEYWORDS: Data interpolation, geostatistics, inverse distance weighting and Kriging.

3 INTRODUÇÃO

O Geoprocessamento vem se tornando uma ferramenta poderosíssima e, na maioria das vezes, indispensável à consecução de projetos relacionados à agricultura. As vastas áreas normalmente abrangidas por estes projetos, fazem do uso do geoprocessamento o principal recurso para o manuseio das grandes bases de dados envolvidas neles, sejam elas de natureza espacial ou não. O termo geoprocessamento surgiu com a introdução dos conceitos de manipulação de dados espaciais georreferenciados dentro de sistemas computadorizados, através de ferramentas denominadas Sistemas de Informações Geográficas – SIG's (ORTIZ, 1993, citado por CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

Um SIG é constituído por um conjunto de “ferramentas” especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Esses dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, etc) e das relações topológicas existentes. Portanto, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (BURROUGH, 1986, citado por CÂMARA & ORTIZ, 1998). O entendimento da tecnologia de Geoprocessamento requer uma descrição dos diversos tipos de dados utilizados em SIG's e de suas representações computacionais. Entre os principais tipos de dados, destaca-se o Modelo Numérico de Terreno (MNT).

O MNT é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar informações relativas às unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo ,etc (CÂMARA & MEDEIROS, 1998). Um MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x,y), em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície. De acordo com Pettinati, 1983, citado por Câmara & Medeiros (1998), a criação do modelo matemático de uma superfície consiste no agrupamento de amostras (x,y,z) que descrevem a superfície real, de maneira que todo o conjunto simule de modo ideal o comportamento da superfície original. A partir de dados de MNT é possível materializar informações georreferenciadas e analisar sua abrangência geográfica, uma vez que ele é uma representação matemática tratável computacionalmente e que representa a distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real (FELGUEIRAS, 1987, citado por ASSAD et al., 1998).

A análise espacial, como parte integrante de um SIG, oferece uma ampla e flexível variedade de ferramentas que fornecem estimativas para locais não amostrados, geralmente, com a estimativa de valores pela média linear ponderada das amostras disponíveis, como a regressão linear múltipla. Algumas técnicas como a Krigagem e a técnica Interpol são comumente usadas par a interpolação de dados pontuais.

A interpolação de dados medidos permite estimar outros dados para qualquer ponto no mapa. Os métodos de interpolação existentes são inúmeros, com aplicações adequadas a diferentes casos. Para o presente trabalho foi escolhido dois métodos, a Krigagem e o Interpol, que podem ser considerados simples apesar da sua elevada precisão. Ambos estão disponíveis no SIG IDRISI (EASTMAN, 1999). Krigagem (“Kriging”) e inverso da distância são métodos de interpolação usualmente utilizados para obtenção de mapas espaciais de parâmetros de solo a partir de amostragens de solo em malha regular (grid) sobre a área em estudo (MULLA, 1991, WOLLENHAUPT et al., 1994, VIEIRA et al., 1998, citados por MARQUES JÚNIOR & CORÁ, 1998). Kriging fornece a melhor estimativa de um parâmetro nos locais onde este não foi amostrado, utilizando os parâmetros do semivariograma (TRANGMAR et al., 1985). Segundo Gotway et al. (1996), citado por Marques Júnior & Corá (1998), a precisão desses mapas depende de vários fatores como densidade de amostragem, configuração da amostragem e método de interpolação-predição utilizados. Entretanto, os autores concluíram que Krigagem e inverso da distância são os métodos que melhor se encaixam aos mais variados conjunto de dados.

A Krigagem ordinária (OK), segundo Laslett et al. (1987), Voltz & Webster (1990) e Rossi et al. (1994), tem se mostrado melhor método de interpolação quando comparada com outros métodos tradicionais de interpolação de pontos. Três características da Krigagem a distingue desse outro método. Primeiro, a Krigagem pode fornecer uma estimativa que é maior ou menor do que os valores da amostra, sendo que as técnicas tradicionais estão restritas a faixa de variação das amostras. Segundo, enquanto os métodos tradicionais usam distâncias Euclidianas para avaliar as amostras, a Krigagem considera, além da distância, a geometria entre as amostras. Terceiro, a Krigagem leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou grau de dependência espacial com a distância ou direção, isto é, através do semivariograma, covariograma ou

correlograma. A interpolação estatística conhecida como Krigagem Ordinária (OK) é essencialmente idêntica a regressão linear múltipla, com algumas diferenças quanto ao uso das matrizes utilizadas para resolver os sistemas e tem se mostrado um método de interpolação com resultados melhores do que aqueles obtidos por outros métodos (LASLETT et al., 1987; VOLTZ & WEBSTER, 1990; ROSSI et al., 1994). Essa técnica tem sido bastante eficiente na representação dos atributos do solo, sendo também utilizada para determinar variáveis subamostradas, através de outras com amostragem mais adensada (REICHARDT et al., 1993; KIRDA et al., 1988). A ferramenta geoestatística que possibilita a detecção e análise da estrutura e dependência espacial na variação dos atributos é conhecida como semivariograma, mostrando a continuidade ou não dos parâmetros analisados (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).

O semivariograma descrito por Isaacs & Srivastava (1989), pode ser expresso como:

$$\gamma(h) = 1/2n \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que,

$\gamma(h)$ é a semivariância,

x_i e $x_i + h$ são locais de amostragens separados por uma distância h ,

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ são valores medidos das variáveis nos locais correspondentes.

Oliver (1999), ao descrevê-los, afirma que os semivariogramas geralmente são limitados, ou seja, a curva que ilustra a semivariância atinge uma assíntota conhecida como patamar (Figura 1).

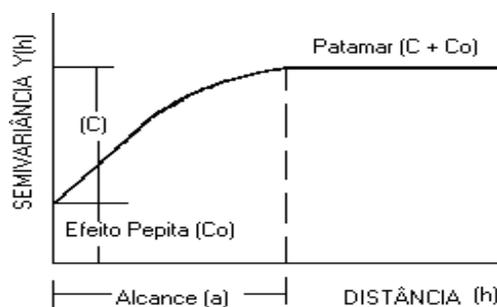


Figura 1. Representação do semivariograma (OLIVER, 1999).

O efeito pepita é um importante parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada, que pode ser originada dos erros de medição ou de microvariações não detectadas, quando é considerada a distância da amostragem utilizada. (CAMBARDELLA et al., 1994). Este parâmetro pode ser expresso como índice relativo percentual do patamar, com o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial da variável analisada. Para possibilitar tal comparação, foi utilizada a classificação do referido autor, em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um indicativo de dependência espacial (IDE) $\leq 25\%$, de dependência espacial moderada, quando $25\% < IDE \leq 75\%$, e de dependência fraca, quando $IDE > 75\%$.

Trangmar et al., (1985), definiram um parâmetro de comparação do tamanho relativo do efeito pepita, chamado de indicativo da dependência espacial (IDE), o qual possibilita a comparação do tamanho relativo do efeito pepita entre os atributos do solo, dado pela equação 02.

$$IDE = (\gamma(h) \text{ pepita} / \gamma(h) \text{ total}) \times 100 \quad (2)$$

onde,

IDE é o indicativo da dependência espacial,
 $\gamma(h)$ pepita é a semivariância do efeito pepita;
 $\gamma(h)$ total é a semivariância total (ou do patamar).

O aplicativo GS+ (GS+, 2000) trabalha a seguinte relação, como mostra a equação 03.

$$\% \text{ Semivariância Estrutural} = \frac{C}{C + C_0} \cdot 100 \quad (3)$$

onde,

C é semivariância.
 C_0 é o efeito pepita.
 $C + C_0$ é o patamar.

Sendo a dependência espacial fraca para valores $\leq 25\%$; entre 25% e 75% , dependência moderada e $> 75\%$ dependência forte.

O alcance da dependência espacial representa a distância na qual os pontos amostrais, normalmente contidos na malha experimental, estão correlacionados entre si, ou

até que distância os dados são dependentes espacialmente. Desta forma, pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si, do que aqueles localizados fora dela (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978). Logo, o alcance torna-se um parâmetro do semivariograma de extrema importância para o planejamento e a avaliação experimental, uma vez que auxilia na definição de procedimentos de amostragem, no tamanho e forma da parcela e do bloco, na distância entre parcelas, para que sejam independentes entre si, e finalmente, no tipo de delineamento experimental a ser utilizado.

Entretanto, segundo Pellegrino et al. (1998), a técnica descrita utilizando o interpolador Interpol, disponível no SIG IDRISI também, com a escolha da opção de interpolação pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância (MIQD), assume que o valor a ser estimado para a variável em um ponto X qualquer é proporcional ao valor medido n pontos vizinhos (V_i) e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o ponto X e cada um destes n pontos vizinhos (D_i^2). Portanto, quanto mais distante o ponto estiver do ponto X, menor será seu peso, em outras palavras, menor sua influência sobre o valor a ser estimado (V_x).

O Interpol do IDRISI utiliza o arquivo de vetores, contendo a posição geográfica de cada valor avaliado, e um dos arquivos de valores de dados quantitativos contínuos, gerando um mapa com valores calculados para a área estudada.

O objetivo deste trabalho consistiu na comparação entre métodos de interpolação de dados de pH do solo para a elaboração do Modelo Numérico do Terreno (MNT), verificando o uso da Krigagem Ordinária (OK) e da técnica Interpol na interpolação de dados obtidos de levantamento de solos (ZIMBACK, 1997) e a adequação destes modelos como base de dados para a elaboração de mapas interpretativos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A região estudada compreende os Municípios de Pardinho-SP e Botucatu-SP, abrangendo a parte inicial da microbacia do Rio Pardo, cujas coordenadas são: 23°05' de latitude Sul e 48°14' de longitude WGr (INSTITUTO DE GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA, 1978 e INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1982), com área de 6.320 ha e 45.6931 km de perímetro, sendo o divisor de águas entre as bacias do Rio Tietê e Rio Paranapanema, fazendo parte da bacia do Rio Paranapanema. Segundo a classificação de Köppen, o clima regional pertence a classe Cwa e a vegetação nativa regional pode ser enquadrada como Floresta Tropical Subperenifólia e Floresta Tropical Subcaducifólia (ZIMBACK, 1997). Na região em estudo, segundo o INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1981), afloram duas formações geológicas: nas partes mais altas, acompanhando o divisor de águas da bacia, aparecem arenitos mais resistentes ao intemperismo, pertencentes ao Grupo Bauru, Formação Marília e, nas áreas inferiores do relevo, formando uma faixa relativamente estreita, margeando os cursos d'água, rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral. A partir do levantamento de solos (ZIMBACK, 1997), foram fornecidos dados de pH do solo da microbacia em estudo. Os mesmos foram trabalhados no programa Excel, do pacote Office for Windows, para confecções de planilhas dos dados dos atributos dos solos, contendo valores de pH e as coordenadas UTM de cada ponto analisado. Para a interpolação dos dados de pH baseada nas técnicas de geoestatística, que têm a Krigagem como o seu interpolador, partiu-se do arquivo em formato de pontos, uma vez que é necessário pelo fato de que os dados para a análise de dependência espacial devem ser pontuais. Utilizando-se o aplicativo GS+, construiu-se o semivariograma experimental que indicou a intensidade da dependência espacial. Após, efetuando análises através do módulo de geoestatística do SIG IDRISI, foi fornecido as indicações dos parâmetros de variância, efeito pepita, patamar

e alcance da dependência espacial existentes entre os dados, bem como a definição do modelo teórico do semivariograma que norteou a execução da interpolação pela técnica de Krigagem. Na Krigagem Ordinária, os pontos a serem interpolados têm o seu valor estimado basicamente levando em consideração os valores daqueles pontos que situam-se dentro do alcance de dependência espacial detectado pelas análises a que se submeteram os dados. O modelo do semivariograma teórico que encerra os parâmetros descritos da variabilidade e que balizará o processo de interpolação, ao ser aplicado aos dados originais, através do módulo da Krigagem, permite a obtenção do Modelo Numérico do Terreno (MNT) com os valores desconhecidos estimados por este interpolador. Através do módulo do SIG IDRISI de interpolação utilizando o interpolador Interpol, obteve-se também o MNT da área estudada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se os dados de pH do solo da microbacia em estudo, obteve-se o semivariograma (Figura 2), através do módulo de geoestatística do SIG IDRISI. A análise geoestatística, efetuada através do semivariograma, conforme descrito por Journel & Huijbregts, 1978 e Isaaks & Srivastava, 1989, no SIG IDRISI 32, mostrou que pH do solo estudado apresenta dependência espacial. Para o ajuste dos semivariogramas, o modelo esférico foi o escolhido para pH.

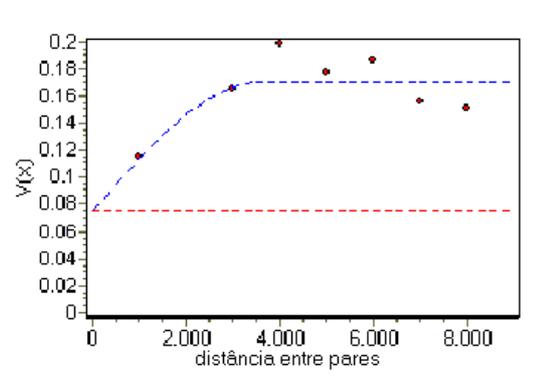


Figura 2. Semivariograma experimental e teórico para o pH do solo.

Através do estudo da intensidade da dependência espacial, dado pela equação $C_0/C_0 + C_1 * 100$ e classificado de acordo com Cambardella et al. (1994), pode-se notar que o atributo pH apresenta forte dependência espacial.

Pode-se observar que o alcance da dependência espacial, para o pH, foi de 3.600m.

De acordo com Laslett et al. (1987), Voltz & Webster (1990) e Rossi et al. (1994), a Krigagem ordinária tem se mostrado o melhor método de interpolação do que aqueles obtidos por outros métodos. Irvin et al. (1997) verificaram que esse uso é bastante eficiente na representação dos atributos do solo.

A partir da análise espacial realizada, e percebendo a existência da dependência espacial através da análise geoestatística, fez-se então, a interpolação dos dados através da Krigagem para o atributo em estudo.

O modelo gerado foi cruzado com o limite da área em estudo e está representado na Figura 3, conforme ilustrado a seguir.

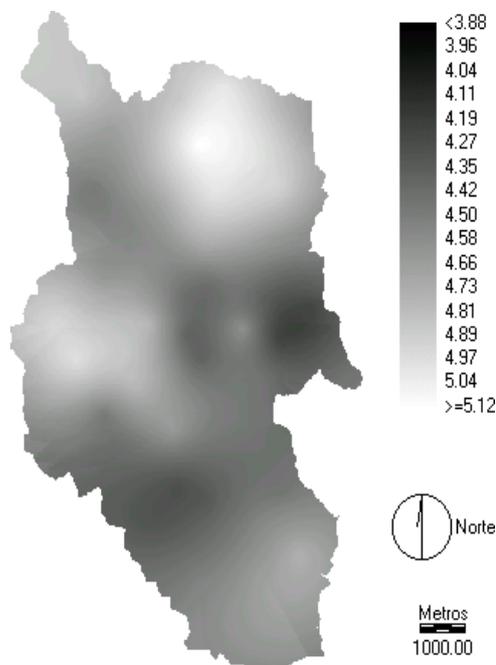


Figura 3. MNT a partir da interpolação dos dados de pH no solo, através da Krigagem.

A interpolação dos teores de pH, quando interpolado pelo método da Krigagem apresenta mapa interpolado com boa distribuição e continuidade.

Quando realizado o procedimento de validação cruzada dos dados, o modelo levou à obtenção de uma correlação de 0.9001 entre os valores observados e estimados, demonstrando que este modelo foi capaz de estimar valores muito próximos dos valores originais, sugerindo a possibilidade de estimar valores confiáveis para pontos não amostrados.

Fez-se, também, a interpolação dos dados através o método de interpolação Interpol, que utiliza o método do Inverso do Quadrado da Distância, para o pH, representado na Figura 4.

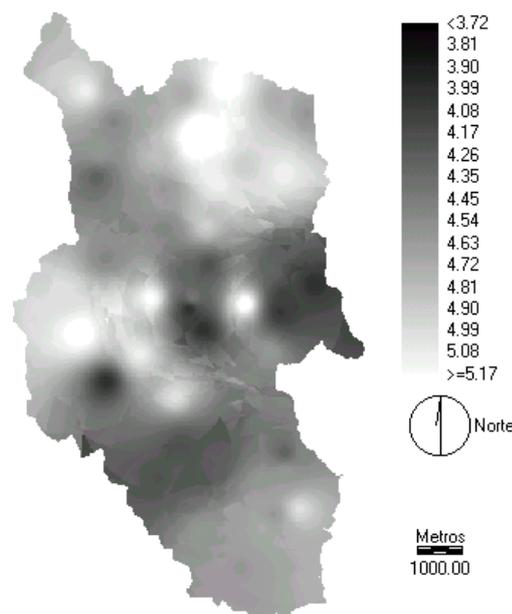


Figura 4. MNT a partir da interpolação dos dados de pH no solo, através do INTERPOL.

A interpolação dos teores de pH, quando interpolado pelo método do Inverso do Quadrado da Distância, utilizando o interpolador Interpol, apresenta mapa interpolado com maiores variações, não

podendo utilizar de uma validação cruzada para saber a correlação entre os valores observados e os valores estimados, sendo então, uma análise de forma qualitativa, apenas pelo aspecto da superfície interpolada.

6 CONCLUSÕES

Pela comparação dos métodos de interpolação, Krigagem e INTERPOL, pode-se concluir que:

- A Krigagem possui ferramenta quantitativa para avaliar as estimativas dos dados;
- a avaliação pelo método Interpol é apenas qualitativa, pelo aspecto da superfície interpolada;
- a Krigagem fornece a melhor estimativa de um parâmetro nos locais onde este não foi amostrado, com uma boa distribuição e continuidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, M. L. L.; HAMADA, E.; CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Serviço de Produção de Informação/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p. 191-232.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Serviço de Produção de Informação/Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998. p. 3-12.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, n. 8, p. 1501-1511, 1994.
- CÂMARA, G.; ORTIZ, M. J. Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: CARTOGRAFIA, SENSORIAMENTO E GEOPROCESSAMENTO, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 59-88.
- EASTMAN, J. R. **IDRISI 32 for Windows: user's guide**. version 2.0. Massachusetts: Clark University, 1999. 2 v.
- GS+. **GS+ Geostatistical for Environmental Sciences**: version 5.0. Michigan: Gamma Design Software, 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil**: Quadrícula de Pardinho. Rio de Janeiro, 1982. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO DE GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA **Carta séries SF-22-Z-B-VI-3-SO-F a SF-22-Z-D-III-1-NE-E**. Rio de Janeiro, 1978. Escala 1:10.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala 1:500.000.
- IRVIN, B. J.; VENTURA, S. J.; SLATER, B. K. Fussy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin. **Geoderma**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 137-154, 1997.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560 p.
- JOURNAL, A. C.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.
- KIRDA, C.; HARDARSON, G.; ZAPATA, F. Spatial variability of root zone soil water status and of fertilizer uptake by forage crops. **Soil Technology**, Cremlingen, v. 1, n. 1, p. 223-234, 1988.
- LASLETT, G. M. et al. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. **Journal of Soil Science**, Madison, v. 38, n. 2, p. 325-341, 1987.
- MARQUES JÚNIOR, J.; CORÁ, J. E. Atributos do solo para agricultura de precisão. *Irriga*, v. 8, n. 1, jan-abr, 2003

- In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA: MECANIZAÇÃO E AGRICULTURA DE PRECISÃO, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 31-70.
- OLIVER, M. A. Exploring soil spatial variation geostatistically. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999, Dinamarca, Silsoe, Sheffield, 1999. p. 3-18.
- PELLEGRINO, G. Q. et al. O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: Serviço de Produção de Informação-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1998. p. 191-232.
- REICHARDT, K. et al. Hydraulic variability in space and time in a dark red latosol of the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 159-168, 1993.
- ROSSI, R. E.; DUMGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sensing Environmental**, Lincoln, v. 49, n. 1, p. 32-40, 1994.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.
- VOLTZ, M.; WEBSTER, R. A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. **Journal of Soil Science**, Madison, v. 41, n. 3, p. 451-472, 1990.
- ZIMBACK, C. R. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Pardo nos Municípios de Pardinho e Botucatu**. Botucatu: Departamento de Ciências do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, 1997. 55 p.