

KRIGAGEM ORDINÁRIA E INVERSO DO QUADRADO DA DISTÂNCIA PARA INTERPOLAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO

Samuel de Assis Silva¹, Aline Inácio Alves¹, Gustavo Soares de Souza¹, Michel de Assis e Silva², Rone Batista de Oliveira³, Julião Soares de Souza Lima⁴

¹Graduando em Agronomia, CCA-UFES, Dept^o Engenharia Rural, Caixa Postal 16, CEP: 29500-000 Alegre-ES, e-mail: samuel-assis@hotmail.com

²Engenheiro Agrônomo, UFES, Alegre – ES, e-mail: michelsilv@gmail.com

³Doutorando em Energia na Agricultura, UNESP, Botucatu – SP, e-mail: roneantiversus@yahoo.com.br

⁴Prof. Orientador, Dept^o Engenharia Rural, CCA-UFES, Alegre-ES, e-mail: jsslima@yahoo.com.br

Resumo - O objetivo desse trabalho foi comparar os métodos de interpolação de krigagem ordinária (KRIG) e do inverso do quadrado da distância (IDW) na estimativa de CTC e V% em um Latossolo vermelho amarelo distrófico. O estudo foi realizado no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), no sul do Estado do ES, com os pontos de amostragem do solo coletados em uma grade irregular, totalizando 109 pontos amostrais. Os dados foram coletados na camada de 0- 0,20 m na projeção da copa das plantas, na parte superior do declive. A performance dos interpoladores foi obtida e comparada usando o critério do erro médio. As observações são espacialmente dependentes até um alcance máximo de 14,1 m, considerando a isotropia. O IDW apresentou maior erro na estimação dos dados, entretanto sua diferença em relação à KRIG foi pequena para ambas as variáveis.

Palavras-chave: Geoestatística, variabilidade espacial, métodos de interpolação, zonas de manejo

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Introdução

Medir atributos de solo é muito importante em diversos contextos, tais como, levantamento e manejo do solo, planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas, etc. A obtenção da correta distribuição espacial para tais atributos é relevante no planejamento agrícola, no que diz respeito à instalação e manutenção das culturas.

Inúmeros métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura (CARVALHO et al., 2002). Estudos feitos por Kravchenko & Bullock, (1999) demonstram que a ponderação do inverso da distância é mais fácil de se realizar, enquanto a Krigagem consome mais tempo e é mais complicada de se aplicar. Por outro lado, a Krigagem faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados e produz valiosa informação sobre a distribuição da estimativa do erro, por ser entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

Entretanto, existem trabalhos que demonstram ser o inverso da distância mais eficiente que a Krigagem. Wollenhaupt et al. (1994), para mapear a disponibilidade de P e K no solo, demonstraram superioridade no método do inverso da distância. Também Gotway et al. (1996) mostraram maior

eficiência de tal método no mapeamento do teor de matéria orgânica e NO³⁻ no solo.

O objetivo desse trabalho foi comparar a eficiência da krigagem ordinária e do inverso do quadrado da distância na estimativa de CTC e V% em um Latossolo vermelho amarelo distrófico.

Materiais e Métodos

O estudo foi realizado na área do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES na latitude 20° 45' 17.31" S e Longitudes 41° 17' 8.86" W.

Os dados foram coletados em uma área cultivada com *Coffea canephora* Pierre, var. Robusta Tropical - 'Emcaper 8151' com espaçamento de 2,90 x 0,9 m e com aproximadamente seis anos de implantação.

A amostragem foi realizada na profundidade de 0,0 – 0,20 m, na projeção da copa das plantas, em um Latossolo vermelho amarelo distrófico textura argilosa.

Dentro de uma área de aproximadamente 10.000 m², criou-se uma grade irregular com 109 pontos amostrais, definidos como células cada uma composta de cinco plantas. As coordenadas de cada ponto amostral foram adquiridas com auxílio de um GPS topográfico.

O manejo nutricional do café, como calagem e adubação do solo, foi realizado através de aplicações uniformes em toda área, por meio de recomendação de dose única.

A determinação da CTC e V(%) foi realizada em laboratório segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

A geoestatística foi utilizada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, sendo a dependência espacial expressa através do semivariograma, estimado pela Equação 1:

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

onde N(h) é o número de pares de valores medidos Z(x_i), Z(x_i+h), separado pela distância h,

se a variável for escalar. O gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ versus os valores correspondentes de h é chamado de semivariograma.

Para estimar valores de CTC e V(%) em locais não amostrados e confeccionar os mapas, utilizou-se de dois métodos de interpolação a saber: krigagem ordinária (KRIG), que é um método geoestatístico, que se utiliza de um estimador linear não-viciado com mínima variância e leva em consideração a estrutura de variabilidade encontrada para o atributo e é definido pela seguinte equação:

$$Z^*(x_i, x_i + h) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i, x_i + h)$$

sujeito a: $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$

em que Z*(x_i, x_i+h) é o estimador para um ponto (x_i, x_i+h) da região e λ_i são os pesos usados na estimativa.

O outro método utilizado foi o inverso do quadrado da distância (IDW) que é um interpolador univariado de médias ponderadas, dado pela seguinte equação descrita por MELLO et al. (2003):

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2} * x_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}}$$

em que: x_p = atributo interpolado; x_i = valor do atributo do i-ésimo ponto de amostragem; d_i = distância euclidiana entre o i-ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado; e n = número de amostras.

A análise geoestatística, bem como os métodos de interpolação, foi realizada no *software* GS + (ROBERTSON, 2000) e os mapas confeccionados

utilizando o *software* Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

A performance dos interpoladores foi obtida e comparada com base nos valores da validação cruzada, segundo Dirks et al. (1998) e Mello et al. (2003), conforme Equação 2:

$$e = \frac{|V_R - V_P|}{V_P} \cdot 100$$

$$e_m = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (2)$$

em que: Z_{esti} é o valor estimado pelo método da validação cruzada e Z_i é o valor do atributo medido em campo na amostragem.

Primeiramente, os dados observados passaram por uma análise descritiva e exploratória. Testou a normalidade dos dados pelo teste Shapiro-Wilk's (P < 0,05), bem como a presença de valores discrepantes (*outliers*). Na análise geoestatística utilizou-se para a escolha do modelo de ajuste da semivariância experimental os parâmetros soma dos quadrados dos resíduos; o coeficiente de determinação múltipla (R²); e o índice de dependência espacial (IDE).

Resultados

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados da análise descritiva da CTC e V%, após a retirada dos valores discrepantes ("outliers").

Tabela 1. Estatística descritiva do cálcio (Ca) e do magnésio (Mg).

Parâmetros Estatísticos	Variáveis	
	CTC	V%
Média	7,87	40,30
Mediana	7,70	39,45
Mínimo	4,70	4,90
Máximo	11,80	68,70
CV(%)	17,48	29,25
s	1,38	11,79
C_s	0,20	-0,02
C_k	-0,10	0,28
w	0,82 ^{ns}	0,84 ^{ns}

CTC (cmol_c dm⁻³); s - desvio-padrão; CV - coeficiente de variação; C_s - Coeficiente de simetria; C_k - coeficiente de curtose; ^{ns} distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk's (W) a 5% de probabilidade.

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados os modelos e parâmetros dos semivariogramas escalonados médios da CTC e V%.

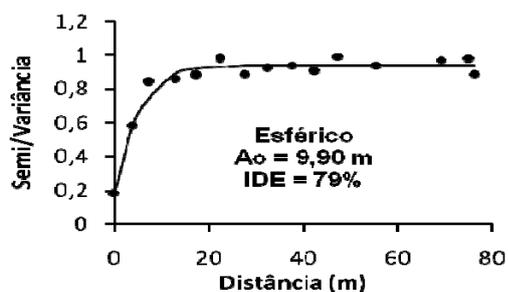


Figura 1. Semivariograma escalonado (A_0 = alcance; IDE = índice de dependência espacial) da CTC.

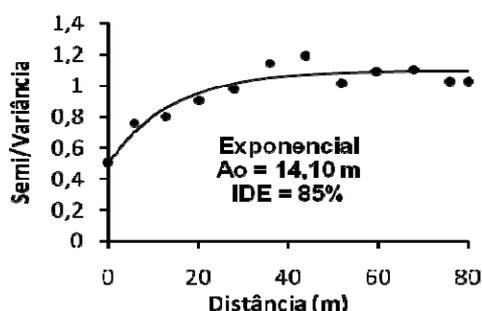


Figura 2. Semivariograma escalonado (A_0 = alcance; IDE = índice de dependência espacial) de V%.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os critérios de comparação QME entre métodos de interpolação.

Tabela 2. Valores de QME para interpoladores usados na distribuição espacial da CTC e V%.

Interpoladores	Erro Médio	
	CTC	V%
KRIG	18,31	314,75
IDW	18,50	319,95

Nas Figuras 3 e 4 estão representados as distribuições espaciais da variável CTC, estimados por KRIG e IDW.

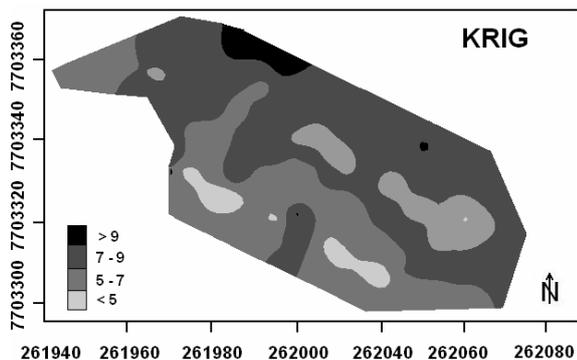


Figura 3. Interpolação por KRIG para CTC.

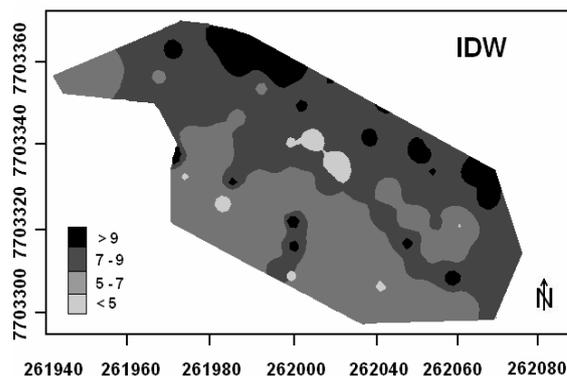


Figura 4. Interpolação por IDW para CTC.

Nas Figuras 5 e 6 estão representados as distribuições espaciais da variável V%, estimados KRIG e IDW.

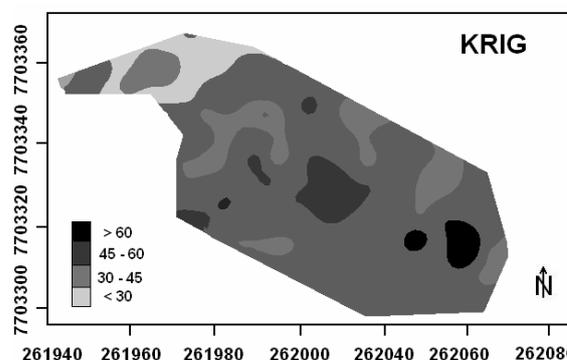


Figura 5. Interpolação por KRIG para V%.

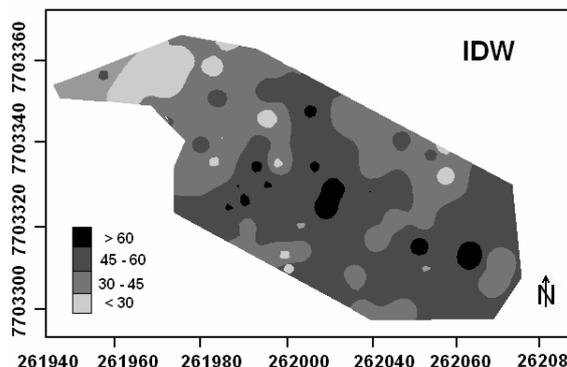


Figura 6. Interpolação por IDW para V%.

Discussão

Nos resultados da análise descritiva (Tabela 1) observa-se que as medidas de tendência central (média e mediana) são muito próximas. Tal fator indica simetria na distribuição dos dados, fato que é confirmado ao analisar os valores do coeficiente de assimetria próximos de zero. As variáveis apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro - Wilk's a 5% de probabilidade.

O valor de CV(%), para ambas as variáveis, foi médio de acordo com classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980).

Através da análise geoestatística (Figura 1 e 2), os semivariogramas experimentais foram ajustados pelo modelo esférico (CTC) e exponencial (V%). Uma maior continuidade espacial foi detectada para V% com alcance de 14,10 m, indicando que amostragens de solo para essa variável devem ser realizadas a distância maior que para CTC, para que as amostras sejam consideradas independentes.

As variáveis apresentaram elevada dependência espacial (IDE > 75%), conforme classificação de Zimback (2001).

Os resultados obtidos para o critério de comparação do erro médio (Tabela 2) demonstram que os menores erros foram obtidos para KRIG, entretanto a diferença entre os métodos é pequena, principalmente para a variável CTC onde esta é mínima. A diferença é mais significativa para a variável V%, o que pode estar relacionado à escolha do modelo teórico do semivariograma, uma vez que esse pode influenciar a KRIG. Resultados semelhantes foram observados por Burrough (1986), que também não encontrou significativa diferença nos valores interpolados pelos métodos IDW e KRIG.

Pela comparação visual dos mapas obtidos, confirmam-se pequenas diferenças entre os métodos de interpolação, principalmente para a CTC (Figura 3 e 4), onde ambos os mapas revelam um acréscimo significativo na direção y, ou seja, no sentido do declive do terreno.

No caso de V% (Figura 5 e 6), onde a diferença entre interpoladores foi maior, observa-se menor continuidade dos valores no mapa estimado por IDW em relação à KRIG. Tais resultados obtidos na comparação visual dos mapas podem estar relacionados ao fato de que KRIG é um estimador linear não-viciado que leva em consideração a estrutura de variabilidade encontrada para o atributo, enquanto que IDW é um interpolador univariado de médias ponderadas, que atribui aos pontos pesos fracionários, porém com soma igual a um.

Conclusão

Os atributos do solo estudados (CTC e V%) apresentaram alta dependência espacial.

O inverso do quadrado da distância apresentou maior erro na estimação dos dados, entretanto sua diferença em relação à krigagem foi pequena, principalmente para a CTC.

Referências

- BURROUGH, P. A. Principles of geographical information Systems for Land Resources

Assessment. New York: Oxford University Press, 1986. 193 p.

- CARVALHO, J.R.P de; SILVEIRA, P.M. da; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-9, ago. 2002.

- DIRKS, K.N.; HAY, J.E.; STOW, C.D. & HARRIS, D. Highresolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data. *J. Hydrol.*, 208:187-193, 1998.

- EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

- GOLDEN SOFTWARE Surfer version 8.00 – Feb 11 2002. Surface mapping system. Colorado: Golden Software, Inc, 1993-2002. 1 CD – ROM.

- GOTWAY, C.A.; HARTFORD, A.H. Geostatistical methods for incorporating auxiliary information in the prediction of spatial variables. *J. Agric., Biol. Environ. Statis.*, 1:17-39, 1996.

- KRAVCHENKO, A.N. & BULLOCK, D.G. A comparative study of interpretation methods for mapping properties. *Agron. J.*, 91:393-400, 1999.

- MELLO, C. R.; LIMA, J.M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e Inverso do Quadrado da Distância para Interpolação dos Parâmetros da Equação de Chuvas Intensas. *R. Bras. Ci. Solo*. V. 27, p. 925-933. 2003.

- ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 2000. 152 p.

- WOLLENHAUPT, N.C.; WOLKOWSKI, R.P. & CLAYTON, M.K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.*, 7:441-448, 1994.

- 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.319-44.

- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2001.