

COKRIGAGEM NA ESTIMATIVA DE TEORES DE CÁLCIO NO SOLO

IGOR Q. M. VALENTE¹, ANAMARI V. DE ARAUJO MOTOMIYA², JORGE W. CORTEZ³, JULIA T. LOPES⁴, FRANCIELY L. CRUZ⁵

¹ Eng. Agrícola, Mestrando em Eng. Agrícola, FCA/UFGD

² Eng. Agrônoma, Prof. Dr (a)., Faculdade de Ciências Agrárias – FCA na Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD.

³ Eng. Agrônomo, FCA/UFGD.

⁴ Eng. Florestal, Mestranda em Eng. Agrícola, FCA/UFGD.

⁵ Graduanda de Eng. Agrícola, FCA/UFGD.

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo o mapeamento da distribuição espacial do atributo cálcio utilizando como covariável o pH, segundo a técnica de cokrigagem utilizando diferentes intensidades amostrais. As amostragens foram realizadas em grade regular de 100 pontos em uma área de aproximadamente 4 ha, para a avaliação dos atributos químicos pH e Cálcio (Ca). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, para determinação das medidas estatísticas média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequência dos dados. Foi realizada a análise de correlação linear de Pearson, visando identificar o grau de associação entre as variáveis. A análise geoestatística foi realizada para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial dos atributos estudados, ajustando-se um modelo de semivariograma cruzado entre os atributos pH e Ca. Para estimar o valor do Ca em locais não amostrados e confeccionar os mapas temáticos, foi utilizado o estimador por cokrigagem. Os mapas de distribuição espacial do Ca foram elaborados conforme os espaçamentos adotados, empregando-se o programa Gs+. Verificou-se que a correlação espacial pode ser considerada satisfatória para a realização das estimativas destes atributos utilizando o pH como co-variável.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, estimativa, geoestatística

COKRIGING IN ESTIMATE CONTENTS OF CALCIUM IN SOIL

ABSTRACT: This paper has as its main aim the mapping of spatial distribution of calcium attribute using as covariate the pH, by the cokriging technique using different sample intensities. The samples were made in regular grid of 100 points in an area with about 4 ha, for the evaluation of the chemical attributes pH and Calcium (Ca). The data were submitted to descriptive statistical analyses to determinate the average statistic measures, the maximum and minimum values, coefficients of asymmetry and kurtosis, the variation coefficient (CV) and the distribution of data frequency. The Pearson correlation coefficients an analyses was made to identify the level of association between the variables. The geostatistic analyses was made check if there was a spatial dependence of the attributes analyzed, adjusting it to a semivariogram crossed model between the attributes pH and Ca. To estimate the calcium value in places that were not sampled and to make the thematic maps, the estimator by kriging was used. The kriging was realized using different sample spaces (20x40 m; 40x40m e 60x60m). The maps of spatial distribution of Ca were prepared according to the spacing adopted, using the Gs+ program. It was found that spatial correlation can be considered satisfactory for carrying out the estimates of these attributes using pH as a covariate.

KEY-WORDS: precision farming, estimate, geostatistic

INTRODUÇÃO: O conhecimento da variação de atributos químicos é importante para o levantamento e manejo do solo, planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas (BOTTEGA et al. 2011). Segundo Motomiya et al. (2012), a utilização de técnicas geoestatísticas e amostragens em grade

podem fornecer uma base confiável para a identificação da variabilidade espacial e mapeamento de atributos físicos e químicos do solo e das plantas. A utilização da geoestatística com a interpolação por meio da cokrigagem, no momento em que uma das variáveis não foi amostrada em quantidade suficiente, por dificuldades experimentais ou altos custos, pode proporcionar estimativas de precisão aceitável (COSTA 2011). Em situações em que exista correlação espacial entre duas propriedades, a estimativa de uma delas pode ser feita usando-se a cokrigagem. A cokrigagem pode ser mais precisa do que a krigagem se a variável primária e a covariável apresentarem dependência espacial, segundo a informação gerada pelo semivariograma cruzado (VAUCLIN et al., 1983). Os variogramas cruzados têm por objetivo descrever a variabilidade espacial e/ou temporal simultânea entre duas variáveis aleatórias, sendo que, uma delas, conhecida como secundária, deve ser de simples determinação, isto é, de fácil amostragem e/ou baixo custo de obtenção e apresentar uma alta correlação espacial com a variável de difícil determinação, conhecida como variável primária e sobre a qual se deseja estimar valores (QUARTEZANI, 2011). A cokrigagem se mostra como uma boa opção para estimativa de variáveis de difícil amostragem, seja por sua complexidade ou pelo elevado custo de análise, desde que se observe uma boa correlação entre a co-variável e a variável a ser estimada (BOTTEGA et al 2011). Este trabalho teve por objetivo o mapeamento da distribuição espacial do atributo cálcio utilizando como covariável o pH, segundo a técnica de cokrigagem utilizando diferentes intensidades amostrais.

MATERIAL E MÉTODOS: Este estudo foi realizado em uma lavoura comercial no município de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul em um Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA 2006). Foram realizadas amostragem em grade regular de 100 pontos em uma área de aproximadamente 4 ha, para a avaliação dos atributos químicos pH, Cálcio (Ca).

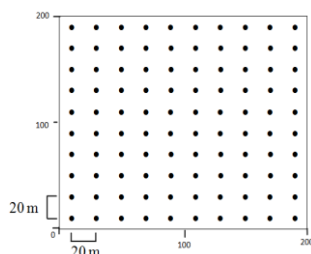


Figura 1. Esquema amostral em grade regular com espaçamento de 20 m entre pontos

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, para determinação das medidas estatísticas média, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose, coeficiente de variação (CV) e distribuição de frequência dos dados. A análise geoestatística foi realizada para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial dos atributos estudados, utilizando-se o programa GS+, ajustando-se um modelo de semivariograma cruzado entre os atributos pH, e Ca. Para estimar o valor do Ca e pH em locais não amostrados e confeccionar os mapas temáticos, foi utilizado o estimador por cokrigagem. Como covariável foram utilizados os dados de pH, pelo fato de o método apresentar baixo custo e ser de rotina na maioria dos laboratórios de análises de solo. Na aplicação da cokrigagem, o atributo selecionado como variável primária foi o teor de Ca no solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados da análise estatística descritiva referente aos atributos químicos do solo de pH e Ca estão apresentados na Tabela 1. Os valores do pH fornecem o grau de acidez de um extrato aquoso do solo, ou seja, é um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo (RAIJ et al., 1996). Os valores do pH encontram-se entre 4,0 e 5,62 (Tabela 1) o que, segundo (SOUZA & LOBATO 2004), indica que em alguns locais da área a acidez pode ser considerada elevada. Analisando a média da área, entretanto, observa-se que a acidez é classificada como alta. Conforme classificação de Wilding e Dress, (1983), observou-se que os atributos estudados como Ca, apresentam CV moderado ($15% < CV < 25%$), exceto o pH, ($CV < 15%$), indicando baixa variabilidade deste atributo. A amplitude dos dados indica a grande variabilidade dos atributos na profundidade estudada.

Tabela 1. Análise descritiva dos atributos analisados.

Variável	X	CV(%)	Máx	Mín	Ass	Cur	P < W	N
Ca	5,74	21,11	8,98	3,35	0,31	-0,62	>0,1*	100
pH CaCl ₂	4,99	7,7	5,62	4	-0,63	-0,45	<0,01*	100

N= número de observações; CV= coeficiente de variação; X = média dos dados, S= Desvio Padrão, Min = valores Mínimos, Max = Valores Máximos, Ass = coeficiente de assimetria, Curt = coeficiente de Curtose.

A análise geoestatística revelou que os atributos estudados apresentaram ajuste a um modelo matemático teórico dentro da grade amostral adotada (Tabela 2). Os semivariogramas experimentais foram ajustados aos modelos teóricos esféricos conforme a menor raiz quadrada do erro médio. Pela análise dos semivariogramas, foi determinado o alcance de dependência espacial, que é um parâmetro muito importante e indica a distância máxima que uma variável está correlacionada espacialmente. O alcance é uma medida importante para planejamento e avaliação experimental, podendo auxiliar na definição de procedimentos amostrais (WEBSTER, 1985).

Tabela 2. Análise geoestatística dos atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 0, 20 m.

Parâmetros	EPP (C0)	Patamar (C0+C)	Alcance (a)	R ²	GDE (%)	Modelo
20 m x 20 m						
pH (CaCl ₂)	0,019	0,38	410,9	0,971	5	Esf.
Ca	0,148	1,695	118,7	0,990	8,73	Esf.
pH x Ca						
20 m x 40 m	0,001	0,479	210,5	0,995	2,08	Esf.
40 m x 40 m	0,001	0,5	223,2	0,996	0,2	Esf.
60 m x 60 m	0,001	0,478	213	0,997	0,21	Esf.

EPP= efeito pepita puro; R²= coeficiente de determinação; GDE= Grau de dependência espacial.

A utilização do pH como covariável para estimar Ca com diferentes espaçamentos, provocou alterações nos alcances. Com relação a variável Ca há um menor alcance nas malhas 20 m x 40 m e 60 m x 60 m, porém na malha amostral 40 m x 40 m ocorre um aumento no alcance (Tabela 2). Em relação ao Ca, o melhor modelo ajustado para os três espaçamentos foi o esférico. Embora a utilização do pH como co-variável tenha apresentado alteração na modelagem da variabilidade espacial do Ca, verificou-se que a correlação espacial pode ser considerada satisfatória para a realização das estimativas. Conforme ocorre o aumento do espaçamento amostral, subsequente correlaciona-se um maior coeficiente de determinação (r²) do modelo ajustado para a variável Ca, mostrando que quanto maior o espaçamento entre amostras da variável a ser correlacionada maior é a precisão da estimativa. Através do semivariograma cruzado, pode-se efetuar a cokrigagem, a qual é um método adequado para estimar pontos não amostrados em espaçamentos diferentes. Segundo Vieira (2000), a estimativa por cokrigagem pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o variograma cruzado mostrar dependência entre as duas variáveis.

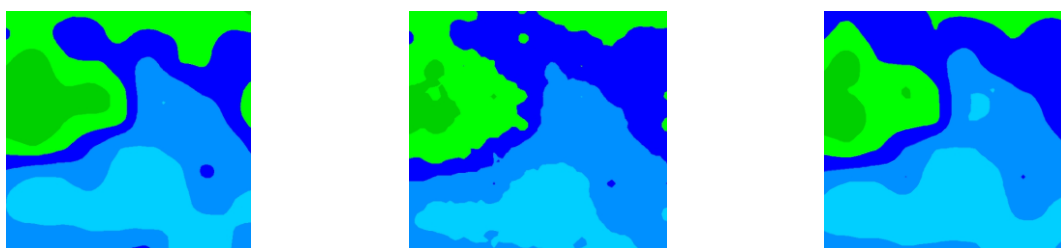


Figura 1. Mapa de distribuição espacial entre os atributos Ca e pH, em diferentes espaçamentos amostrais: 20 m x 40 m; 40 m x 40 m; e 60 m x 60 m, respectivamente.

CONCLUSÕES: A correlação espacial permitiu estimar adequadamente os teores de Ca, a partir dos valores de pH. Através dos semivariogramas cruzados, podemos identificar que a cokrigagem é um método adequado para estimar teores de Ca em pontos não amostrados do solo.

REFERÊNCIAS

BOTTEGA, E.L.; SILVA, S.S.; COSTA, M.M.; BOTTEGA, S.P. Cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho distroférico. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 4, p. 821-828, 2011.

COSTA, F.P.; LIMA, J.S.S. Cokrigagem na distribuição espacial do cálcio baseado no pH em um Latossolo cultivado com café conilon. **Nucleus**, Ituverava, v.8, n.1, p. 1-8, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 412 p.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BAILO, F. H. R. Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, p. 112-118, 2012.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1996. 182 p. (Boletim, 100).

ROBERTSON, G. P. **GS+**: Geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03 Beta, Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of American Journal**, v.47, n.1, p.175-184, 1983.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

QUARTEZANI, W.Z.; ZIMBACK, C.R.L.; LANDIM, P.M.B.; OLIVEIRA, R.B. Eficiência da cokrigagem na estimativa da produtividade do café conilon. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n.1, p.113-1, 2011.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in field. In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advance in soil science**. New York, v. 3, p. 1-70, 1985.

WILDING, L.P.; DRESS L.R. Spatial variability and pedology. In L.P. WILDING, N. SMECK.; HALL G.F. (ds.). **Pedogenesis and Soil Taxonomy**. Wageningen. Netherlands. p. 83-116, 1983.