ESTIVA DE Ca E Mg FOLIARES POR MEIO DE Ca E Mg DO SOLO EM BANANEIRA 'PRATA ANÃ' UTILIZANDO COKRIGAGEM

ESTIMATION OF NUTRIENTS FOLIAR OF TREE BANANA 'PRATA ANÃ' USING COKRIGAGEM

Moises ZUCOLOTO[1]; Julião Soares de Souza LIMA[2]; Ruimario Inacio COELHO[2]; Samuel de Assis SILVA[3]; Gustavo Soares de SOUZA[4]

1. Doutorando em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa, MG, Brasil. moiseszucoloto@hotmail.com ; 2. Professor, Doutor, Universidade Federal do Espírito Santo-UFES, Alegre, ES, Brasil. 3. Doutorando em Engenharia agrícola - UFV, Viçosa, MG, Brasil. 4. Doutorando em Agricultura, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, Brasil.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência do método estatístico da cokrigagem na estimativa do Ca e Mg foliares da bananeira 'Prata Anã', utilizando os teores de Ca e Mg do solo como variáveis auxiliares. Foram coletadas em torno de cada planta quatro amostras de solo na camada de 0 –20 cm e em seguida homogeneizadas formando uma amostra composta. Para análise foliar foram coletadas de 10 a 25 cm da parte interna mediana do limbo foliar, na terceira folha a contar do ápice eliminando-se a nervura central, no período de inflorescência da planta, em uma malha regular, totalizando 100 pontos amostrais espaçados de 6 x 4 m. Obteve-se as margens de erros associadas à cokrigagem por comparação dos valores estimados com aqueles determinados em laboratório. Os resultados mostraram que a técnica foi capaz de estimar os nutrientes foliares com eficiência.

PALAVRAS-CHAVE: *Musa* sp. Semivariograma. Interpolação.

INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas. A variabilidade de atributos do solo é uma preocupação antiga e, ainda hoje, diversos autores dedicam-se a pesquisar os efeitos dessa variação, já que esta pode afetar decisivamente os resultados em pesquisas (CARVALHO et al., 2003; SILVA et al., 2003; SOUZA et al., 2004).

Níveis adequados de nutrientes em folhas, das mais diversas cultivares de bananeira, foram estabelecidos, admitindo faixas adequadas para macro e micronutrientes para algumas cultivares em diversas condições (Jones Jr. et al., 1991; Robinson, 1986; Ribeiro et al., 1999; Prezotti, 2007; Raij et al., 1997), demonstrnado a importancia na determinação de nutrientes foliares para um bom desenvolvimento e produtividade satisfatória.

A cokrigagem descreve a variação espacial e/ou temporal simultânea de duas variáveis aleatórias que estão fortemente associadas entre si, portanto ela é utilizada quando existe dependência espacial para cada variável em estudo e também entre as variáveis, sendo possível utilizar esta técnica na estimativa de valores não amostrados (GUIMARAES, 2004).

Carvalho e Queiroz (2002) utilizaram a cokrigagem para estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico, estabelecido sob preparo convencional e cultivado com o feijoeiro comum, com vistas em fornecer subsídios para o planejamento da produção agrícola e demostraram que a co-krigagem pôde realizar a estimativa do pH e do Mn eficientemente, usando, como co-variável, o teor de MO.

Couto e Klamt (1999) estimaram a deficiência de Mn utilizando o método da cokrigagem em um solo sob pivô central, na profundidade de 0–20 cm, em uma plantação de milho no Sul do Estado de Mato Grosso.

Como a análise foliar é mais honerosa que a análise de solo, a estimação de valores foliares por meio de valores de elementos de solo é uma forma alternativa de reduzir os gastos. Dessa forma, pretendeu-se estimar, por meio da cokrigagem, os níveis de Ca e Mg foliares utilizando os teores de Ca e Mg do solo como variáveis auxiliares em uma plantação de bananeira 'Prata Anã'.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em bananal comercial localizado na região norte do Espírito Santo em um Argissolo Amarelo Distrófico arênico, localizado nos depósitos dos tabuleiros costeiros (DUARTE, 2000), que corresponde ao Argissolo Amarelo Distrocoeso arênico de acordo com

Received: 28/08/09
Accepted: 13/05/10

Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, (EMBRAPA, 2006). As coordenadas geográficas da área são: 19° 49' 24" de Latitude Sul e 40° 04' 20" de Longitude e com altitude média em torno de 30 m e declividade plana, menor que 1%

O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso com temperatura média anual de 24,8 ºC e precipitação média anual acumulada de 1.200 mm.

A variedade de bananeira cultivada é a Prata Anã, plantada no espaçamento de 3,0 x 2,0 m em sistema de fileira simples, com manejo hídrico de irrigação por aspersão sub-copa com lâmina d'água média variando de 100 mm/mês para os meses mais quentes e 70 mm/mês para os meses com menor evapotranspiração.

Ao longo do ciclo da cultura foram aplicados 220 g de Nitrogênio, 290 g de Potássio e 100 g de Fósforo, cujas fontes foram uréia, cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente. As adubações foram divididas em cinco parcelas iguais. Para os micronutrientes foram realizadas duas aplicações foliares com Corona Master®, na base de 4 kg ha^{-1}.

No centro da área foi demarcada uma malha amostral regular de 2.400 m^2, totalizado 100 pontos. As amostras de solo foram coletadas nas quatro direções a 50 cm da base das plantas (denominada de planta mãe) com o auxilio de uma sonda inoxidável na camada de 0 – 20 cm no período de florescimento. Em seguida as amostras foram homogeneizadas formando uma amostra composta, sendo estas encaminhadas para o laboratório, para a determinação dos atributos químicos de solo: pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, T, t, V e m, conforme metodologia apresentada pela Embrapa (1999).

Para análise química do tecido foliar, foram coletadas 100 amostras com10 a 25 cm da parte interna mediana do limbo da terceira folha a contar do ápice, eliminando-se a nervura central, no período de inflorescência (CORDEIRO, 2000). Em seguida, as amostras foram lavadas e secas em estufa a 65ºC e encaminhadas para análise segundo metodologia apresentada pela Embrapa (1997).

Os dados foram submetidos à análise para verificar a presença de pontos discrepantes (*outliers*) no conjunto de dados utilizando o *box-plot*. Em seguida, os dados foram submetidos a uma análise descritiva, exploratória e também à análise de correlação para determinar a relação entre as variáveis. Para verificação da normalidade dos dados foi realizado o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) ($p \leq 0,05$). Em seguida realizou-se a análise geoestatística, dentro da qual se buscou avaliar o atendimento da hipótese de estacionalidade assumida (VIEIRA et al. 1983; GONÇALVES et al., 2001) por meio de ajuste do variograma estimado pela Equação 1:

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

em que: N(h) é o número de pares de valores $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ separados por um vetor h, e x_i é uma posição espacial da variável Z. No ajuste do variograma determinou-se os parâmetros: efeito pepita (C_0), correspondendo ao valor da interseção no eixo das semivariâncias; patamar (C_0+C_1), aproximadamente igual ao valor da variância dos dados; e alcance (a), que representa a distância na qual o variograma atinge o valor do patamar e a região de dependecia espacial entre as amostras (Vieira et al., 1983).

Para a escolha do modelo adotado, baseou-se na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação múltipla (R^2) do ajuste dos modelos teóricos aos variogramas experimentais. Na seqüência, também foi utilizado o R^2 da validação cruzada (R^2-VC) (valores observados versus valores estimados), como critério de escolha.

Para análise do índice de dependência espacial (IDE%), foi utilizado a relação definida pelo *software* GS^+ ($C_1/C_0 + C_1$) e os intervalos propostos por Zimback (2001), que considera a dependência espacial fraca (IDE ≤ 25%); moderada (25% <IDE ≤ 75%) e forte (IDE > 75%).

Para espacialização de Ca e Mg foliares em função de Ca e Mg de solo, utilizou-se a cokrigagem. Esta estimativa pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o variograma cruzado mostrar dependência entre as duas variáveis (VIEIRA, 2000).

Na cokrigagem (VIEIRA, 2000), para estimar valores, Z_2*, para qualquer local, X_0, o valor estimado deve ser uma combinação linear de ambos Z_1 e Z_2 , ou seja:

$$z_2^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N1} \lambda_{1i}\, z(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{N2} \lambda_{2j}\, z_2(x_{2j}) \quad (2)$$

em que N_1 e N_2 são os números de vizinhos de Z_1 e Z_2 , respectivamente, l_1 e l_2 são os pesos associados a cada valor de Z_1 e Z_2 . Tomando z_1 (x_{1i}) e z_2 (x_{2j}) como sendo uma realização das funções aleatórias Z_1 (X_{1i}) e Z_2 (X_{2j}), respectivamente, e assumindo estacionaridade de ordem 2, o estimador pode ser rescrito em:

$$Z_2^*(x_0) = \sum_{i=1}^{N1} \lambda_{1i}\, Z(X_{1i}) + \sum_{j=1}^{N2} \lambda_{2j}\, Z_2(X_{2j}) \quad (3)$$

expressando que a estimativa da variável Z_2 deverá ser uma combinação linear de ambos Z_1 e Z_2, com os pesos λ_1 e λ_2 distribuídos de acordo com a dependência espacial de cada uma das variáveis entre si e a correlação cruzada entre elas.

A análise geoestatística, bem como o método de interpolação, foi realizada no *software* GS $^+$ (ROBERTSON, 2000). Utilizou-se, na indicação da melhor co-variável para estimar Ca e Mg, os valores de erro padrão da estimativa, fornecidos pela validação cruzada.

Para verificação da precisão do método de cokrigagem, alguns valores reais foram escolhidos aleatóriamente e comparados com os estimados pela estimação. Os erros foram determinados da seguinte forma: Erro= [(valor estimado/valor real-1)*100], conforme Angelino (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva geral para as variáveis em estudos estão apresentados na Tabela 1. Nota-se que o Ca e Mg presente nas folhas apresentam maior uniformidade na área em relação aos elementos presentes no solo, demonstrado pelo valor do coeficiente de variação (CV) e a proximidade de seus valores da média e mediana. Somente o Ca no solo apresentou assimetria negativa, demonstrando que seus valores concentram-se acima da média e os outros elementos por apresentar simetria positiva tem concentração de seus valores acima da média.

Entretanto, todos os atributos apresentaram média variabilidade de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), de baixa para CV < 12% ; média de 12% < CV < 60% e alta para CV > 60%. A maior variação foi observada para o Ca do solo.

Tabela 1. Estatística descritiva geral para Ca e Mg de solo e folha.

Atributos	Média	Md	s	Valores		Coeficientes			DN
				Max	Min	CV	Cs	Ck	
Atributos de solo									
Ca	1,42	1,50	0,45	3,00	0,59	41,44	- 0,13	-0,62	*
Mg	0,83	0,80	0,40	1,80	0,29	35,61	0,88	1,37	ns
Atributos de folha									
Ca	0,22	0,21	0,12	0,38	0,05	22,40	0,63	0,22	ns
Mg	0,14	0,13	0,08	0,21	0,03	20,11	0,32	-0,07	*

Md: mediana, s: desvio-padrão, Min: valor mínimo, Max: valor máximo, CV: coeficiente de variação, Cs: coeficiente de assimetria, C_K: coeficiente de curtose, DN: teste da distribuição normal, ns: não significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), portanto, distribuição normal dos dados e *: distribuição não normal.

A normalidade dos dados foi observada para o Mg do solo e Ca da folha**,** já o Ca do solo e o Mg foliar não apresentam distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) ($p \leq 0,05$). Como salientado por Warrick e Nielsen (1980) e Webster (1985), em se tratando de dados obtidos na natureza, o ajuste a uma distribuição teórica é apenas aproximado. Cressie (1991), afirma que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a

distribuição não apresente caudas muito alongadas, como observado nos dados em questão, o que poderia comprometer na estivativa dos valores por interpolação.

Os semivariogramas experimentais utilizados para avaliar a dependência espacial das variáveis em estudo estão apresentados na Figura 1. Assumiu-se, nesse caso, estacionaridade intrínseca, uma vez que não se verificou tendência de variação para as variáveis.

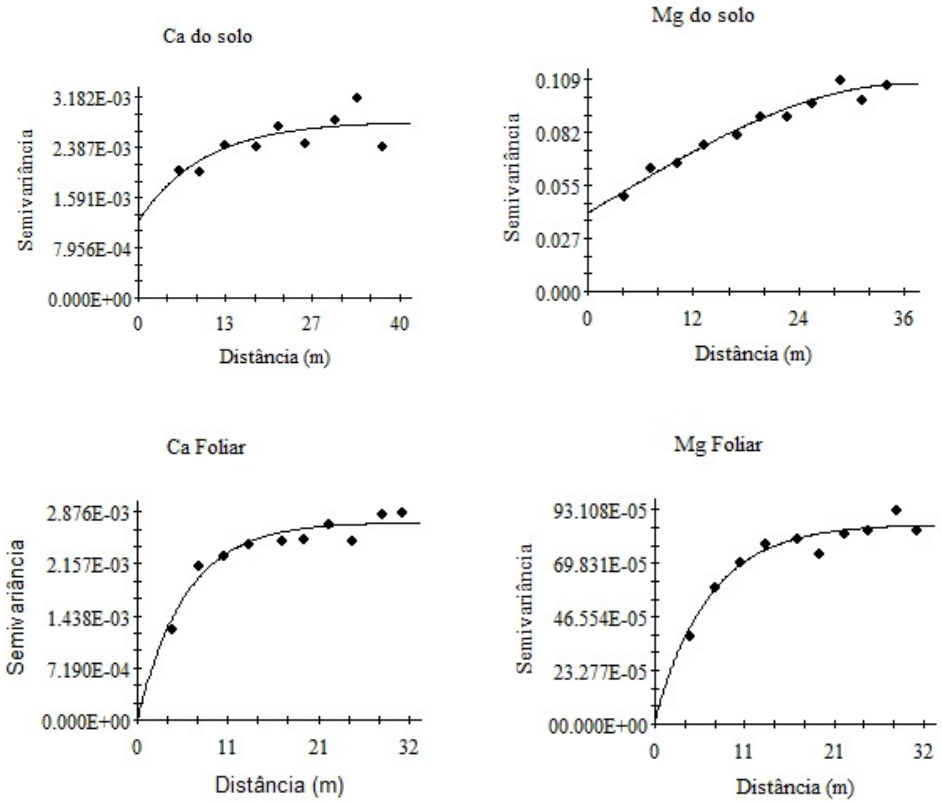


Figura 1. Semivariograma do Ca e Mg do solo e foliar.

No variograma do cálcio do solo observa-se que o mesmo apresentou dependência espacial, ajustando-se aos dados o modelo exponencial com alcance de 30 m, ou seja, amostras do cálcio do solo selecionadas a distâncias inferiores a 30 m são correlacionadas entre si. O efeito pepita apresentou valor de 0,001 e o patamar de 0,0028, quanto ao IDE, apresentou-se moderado de acordo com Zimback, (2001).

Aos variogramas, tanto o Mg do solo e o Ca foliar ajustaram o modelo esférico, com alcances de 36 m e 17 m, respectivamente. De acordo com Zimback (2001), a dependência espacial para as duas variáveis mostrou-se moderada para Mg do solo e forte para o Ca foliar. Os valores de efeito pepita e patamar foram 0,0041 e 0,107 para Mg do solo e 0,000 e 0,002 para o Ca da folha.

O Mg foliar apresentou dependência espacial com ajuste do modelo exponencial ao variograma, com um alcance de 19 m e efeito pepita. O IDE foi forte, de acordo com Zimback (2001).

Como o houve correlação espacial para uma mesma variável de solo e folha, a estimativa de uma delas foi realizada usando-se as informações de ambas, expressas no variograma cruzado. Como a correlação linear foi significativa ($p<0,05$) entre Ca do solo e Ca foliar e Mg do solo e Mg foliar, o variograma cruzado entre estas variáveis foi examinado.

A Figura 2 ilustra os variogramas cruzados do Ca e Mg foliar, respectivamente, usando, como co-variável, o teor de Ca e Mg do solo.

No semivariograma cruzado do Ca foliar as estimativas dos parâmetros do modelo gaussiano foram: alcance de 18 m, efeito pepita de 0,000 e patamar de 0,001 e o semivariograma cruzado do teor de Mg foliar também apresentou ajuste do modelo gaussiano, com alcance de 30 m, efeito pepita de 0,000 e patamar de 0,0003.

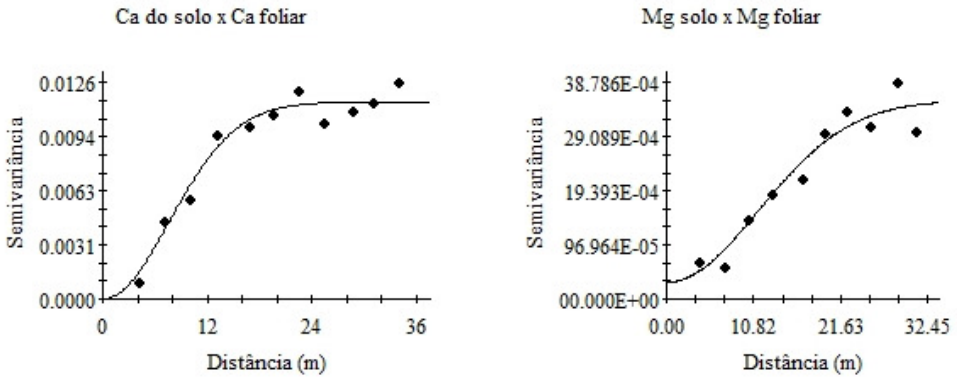


Figura 2. Semivariograma Mg do solo x Mg foliar e Ca do solo x Ca foliar.

Portanto, os mapas de isolinhas gerados por cokrigagem (Figura 3) são semelhantes, afirmando a utilização dos teores de Ca e Mg do solo na sua estimativa.

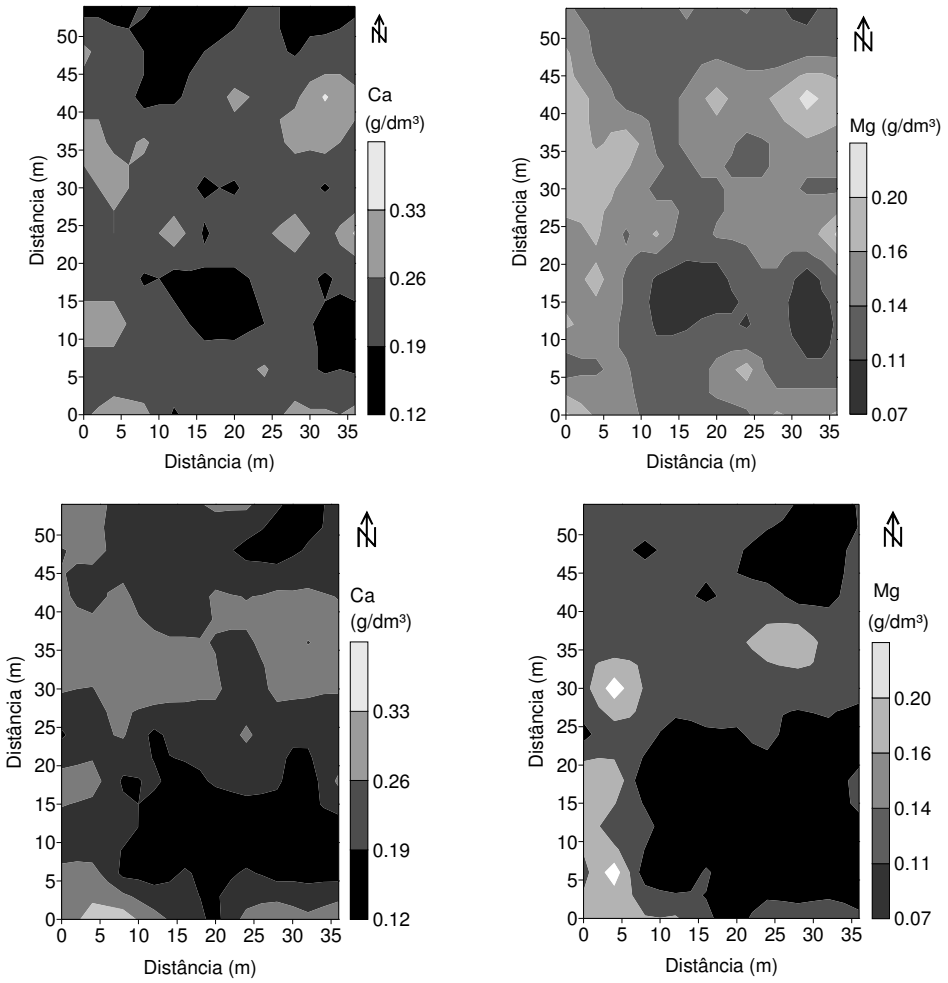


Figura 3. Mapas superiores gerados com valores reais e os inferiores estimados por cokrigagem.

O quadro 2 apresenta a comparação direta entre os valores estimados pela cokrigagem e os valores medidos em laboratório (valor real), seguidos dos respectivos erros.

Dentre as 10 amostras selecionadas para a verificação, observou-se que o erro maior na estimativa do Ca foi de 33,3% e, para o teor de Mg de 50%. Os resultados foram satisfatórios quando se analisou a média dos erros que, para o Ca, ficou em torno de 12,0 % e, para o teor de Mg, em torno de 22,3%, resultados significativos para a maioria das práticas agrícolas (MCLELLAN; FRIESEN, 1997).

Tabela 2. Comparação entre os valores estimados e os valores reais de Cálcio e Magnésio.

Ca		Erro	Mg		Erro
Real	Estimado		Real	Estimado	
(g/dm³)		(%)	(g/dm³)		(%)
2,0	2,0	0,0	0,8	0,9	13,0
0,7	0,9	28,6	0,6	0,9	50,0
1,5	1,6	6,7	0,4	0,5	25,0
1,0	0,7	30,0	0,5	0,6	20,0
1,5	1,5	0,0	0,4	0,5	25,0
1,8	1,2	33,3	0,6	0,5	16,7
2,1	1,9	9,5	0,5	0,6	20,0
1,9	1,9	0,0	0,5	0,7	40,0
1,8	1,7	5,6	0,9	0,8	13,3
1,6	1,5	6,3	0,8	0,8	0,0
Erro Médio		12,0			27,3

Uma observação valida a fazer, que é possivel estimar a distribuição espacial do Ca e Mg foliares com base nos teores de Ca e Mg do solo, diminuindo o número de análise laboratórial e consequentemente o custo, já que a análise de foliar é mais honerosa que a de solo.

CONCLUSÃO

A cokrigagem estimatimou os teores de Ca e Mg foliares eficientemente, usando, como co-variável, o Ca e Mg presentes no solo.

ABSTRACT: The objective of this study was to investigate the efficiency of the cokrigagem statistical method to estimate the Ca and Mg leaf of tree banana 'Prata Anã', using the Ca and Mg in the soil as auxiliary variables. Were collected around each plant four samples of soil layer from 0 - 0.2 m then homogenised to form a composite sample. For leaf analysis were collected from 10 to 25 cm from the inner leaf of the median, the third leaf from apex eliminating the midrib, from inflorescence of the plant in a regular grid, totaling 100 sampling points spaced 6 x 4 m. Obtained the margins of error associated with cokrigagem by comparing the estimated values with those determined in the laboratory. The results showed that the technique was able to estimate the nutrient content efficiently.

KEYWORDS: *Musa* sp. Semivariogram. Interpolation

REFERÊNCIAS

ANGELICO, J. C. Desempenho da cokrigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 931-936, 2006.

ARAUJO, A. A. V. **Variabilidade espacial de propriedades químicas e granulométricas do solo na definição de zonas homogêneas de manejo**. 2002. 80 f. Dissertação Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2002.

CARVALHO, J. R. P.; QUEIROZ, E. F. Uso da cokrigagem colocalizada na determinação da distribuição espacial de precipitação. **Embrapa Informática Agropecuária**. Área de Comunicação e Negócios, 2. ed, Campinas, 2002.

CARVALHO, M. P; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003.

COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 2331-2339, 1999.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900 p.

DUARTE, M. N.; CURI, N.; PÉREZ, D. V.; KAMPF, N.; CLAESSEM, M. E. C. Minerologia, Química e Micromorfologia de solos de uma bacia nos tabuleiros costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1237-1250, 2000.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 412p, 1999.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística Básica e Aplicada.** Material didático. UFU/Uberlândia – MG. 2004. 78p.

JONES, JR., J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analyses handbook**: a practical sampling, preparation, analyses and interpretation guide. Athens (USA): Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um solo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 291-298, 2007.

McLELLAN, J. F. & FRIESEN, L. **Pulsearch Navigation Systems** Inc. Calgary, Alberta, Canada, 1997.

NOVAIS, R. F. & SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PREZOTTI, L. C. **Recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5.ed. Vitória, 2007. 3005p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, 1997. 285p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa, 1999. 359p.

ROBERTSON, G. P. GS$^+$: **Geoestatistics for the environmental sciences** - GS$^+$ User´s Guide. Plainwell, Gamma Desing Software, 1998. 152p.

ROBINSON, J. B. Fruits, Vines e Nuts. In: REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. (Ed.). **Plant analyses**: an interpretation manual. Melbourne, 1986. p. 120-147.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SOUZA, Z. M.; MARQUES, JR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 1, p. 1-53, 2000.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385 p.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances Soil Science**, New York, v. 3, n. 1, p. 1-70, 1985.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.