

## EFICIÊNCIA DA COKRIGAGEM NA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO CAFÉ CONILON<sup>1</sup>

WAYLSON ZANCANELLA QUARTEZANI<sup>2</sup>; CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK<sup>3</sup>; PAULO MILTON BARBOSA LANDIM<sup>4</sup> & RONE BATISTA DE OLIVEIRA<sup>5</sup>

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi estimar a produtividade (PRODUT) em sc/ha do café conilon por meio da técnica de cokrigagem, usando como covariável a produção de café úmido (PROD) em kg e comparar o resultado com a estimativa obtida por krigagem ordinária. O estudo foi realizado em uma área comercial de café conilon, *Coffea canephora* Pierre, Var. conilon, localizada no Município de São Mateus-Espirito Santo. Para o trabalho foi amostrada em campo a produção de café úmido numa malha amostral irregular de 18,5 ha, totalizando 87 pontos amostrais. Foram determinados também, a produção de café seco e café pilado a 12% de umidade, para obtenção da variável PRODUT. Após a análise exploratória dos dados, que mostrou a correlação entre as variáveis da ordem de 0,899, foi efetuada a análise variográfica. Foram ajustados variogramas teóricos para PROD e PRODUT e variograma cruzado entre as duas variáveis. Finalmente foram estimados os valores para PRODUT, tanto por krigagem ordinária como por cokrigagem. A validação da estimativa por cokrigagem não mostrou, porém, ganhos significativos em relação à validação por krigagem ordinária.

**Palavras-chave:** Variograma cruzado, krigagem, *Coffea canephora*.

---

<sup>1</sup> Parte da tese de doutorado do 1º autor

<sup>2</sup> Engº. Agrônomo, Doutorando em Energia na Agricultura, Depto. de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) /UNESP, Rua Benedito Mathias Blumer, n 35 – Jardim Paraíso, Botucatu-SP, CEP: 18610-310, [waylson@fca.unesp.br](mailto:waylson@fca.unesp.br);

<sup>3</sup> Engª agrônoma, Prof. Adjunto, Depto. de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) /UNESP, Fazenda Experimental Lageado – Caixa Postal 237, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Botucatu-SP; CEP: 18610-310, [czimback@gmail.com](mailto:czimback@gmail.com);

<sup>4</sup> Geólogo, Prof. Titular, Depto. de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) /UNESP, Rua da Tranquilidade, n 120 - Recanto Azul, Botucatu-SP, CEP: 18603-010, [plandim@rc.unesp.br](mailto:plandim@rc.unesp.br);

<sup>5</sup> Engº. Agrônomo, Doutorando em Energia na Agricultura, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) /UNESP, [rbatista@fca.unesp.br](mailto:rbatista@fca.unesp.br).

## EFFICIENCY OF COKRIGING TO ESTIMATE COFFEE CONILON PRODUCTIVITY

**SUMMARY:** *The objective of this research was to estimate the productivity (PRODUT) in sc/ha of coffee conilon through the technique of cokriging, using as covariate the production of humid coffee (PROD) in kg and compare the results with estimates obtained by kriging ordinary. The study was conducted in a commercial area of conilon coffee, Coffea canephora Pierre var. conilon, located in São Mateus Municipality, Espírito Santo State. For the field work was sampled the humid coffee production in a sampling grid irregular of 18.5 ha, 87 sampling points in the total. We also determined the production of dry coffee beans and coffee benefited 12% moisture, to obtain the PRODUT variable. After exploratory data analysis, which showed the correlation between variables in the order of 0.899, was performed variogram analysis. Were adjusted theoretical variograms to PROD and PRODUT and cross variogram between two variables. Finally we estimated the value of productivity, both by ordinary kriging as per cokriging. The validation of the estimation by cokriging not shows, however, significant gains in relation to validation by ordinary kriging.*

**Keywords:** *Cross-variogram, kriging, Coffea canephora.*

## 1 INTRODUÇÃO

Existem alguns casos segundo Guimarães (2004), em que a determinação de variáveis é cara e de difícil amostragem, comprometendo assim o estudo da variabilidade espacial de tal variável. Para esses casos aplica-se o método chamado cokrigagem que se baseia nos parâmetros expressos por um variograma cruzado entre duas variáveis para a estimativa de novos valores em locais não amostrados. 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.

A cokrigagem é portanto um procedimento geoestatístico segundo o qual diversas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si. É uma extensão multivariada do método da krigagem, quando para cada local amostrado obtém-se um vetor de valores em lugar de um único valor (GUIMARÃES, 2004). Segundo Landim et al. (2002), a aplicação da cokrigagem torna-se bastante evidente quando duas ou mais variáveis são amostradas nos mesmos locais

dentro de um mesmo domínio espacial e apresentam significativo grau de correlação. Valores ausentes não se tornam problemáticos, pois o método deve ser usado exatamente quando a variável primária apresenta-se sub-amostrada em relação às demais secundárias.

Segundo Vieira (2000), a cokrigagem pode ser mais precisa do que a krigagem de uma variável simples, quando o variograma cruzado mostrar forte dependência entre as duas variáveis. Porém, este procedimento, embora viável, não apresenta ganho significativo em relação à krigagem, quando a malha amostral da variável primária é suficiente para reproduzir o fenômeno espacial subjacente, conforme demonstrado em Fonteles et al. (2006).

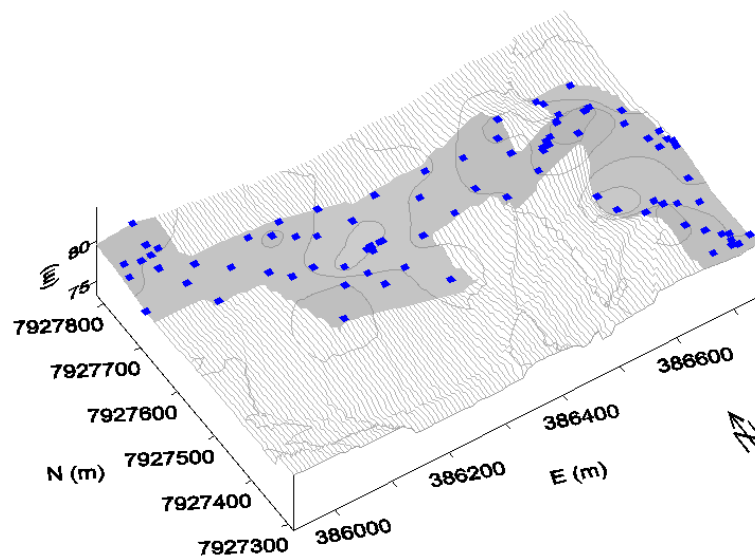
Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi estimar a produtividade do café conilon por meio da técnica de cokrigagem, usando como covariável a produção de café úmido e comparar as suas estimativas com aquelas obtidas por krigagem ordinária, utilizando como parâmetros de avaliação os resultados do variograma e do variograma cruzado ajustados e a validação cruzada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área comercial de café conilon localizada no Município de São Mateus-Espirito Santo, com coordenadas geográficas centrais de 18°45'38" de latitude Sul e 40° 04'40" de longitude W de Greenwich e altitude média de 78 m. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) e a textura é franco argiloso arenosa com relevo plano a suave ondulado. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso, temperatura média anual de 24,8 °C, temperatura média do mês mais frio de 19,8 °C, do mês mais quente de 29,8 °C e precipitação média anual acumulada de 1.288 mm. Os dados climáticos foram obtidos da estação meteorológica Inc\_013, coordenada pelo INCAPER. A espécie de café estudada foi *Coffea canephora* Pierre, Var. conilon, variedade com maior difusão na região Norte do Espírito Santo por aceitar bem as condições climáticas locais.

Na área comercial, com *Coffea canephora* Pierre, foram demarcados os pontos de amostragem, definidos como células amostrais, situados dentro de uma grade irregular de aproximadamente 185.670 m<sup>2</sup> (18,567 ha). Assim como a área, os pontos foram espaçados irregularmente, porém distribuídos de forma a serem representativos. Em 5 regiões ao longo da malha foi feito um adensamento dos pontos para evitar que os variogramas apresentassem efeito pepita puro, nos casos em que o alcance ou a dependência espacial da variável em estudo fossem menores que a distância de amostragem. Cada célula foi constituída pela amostragem de 3 plantas, na mesma fileira, para a coleta de atributos relacionados à produção do café

conilon, constituindo, portanto, uma amostragem composta, totalizando 87 células amostrais. O georreferenciamento correspondeu ao centro de cada célula (planta do meio), com as coordenadas obtidas com o auxílio de um GPS topográfico. Foi utilizado o sistema de coordenadas UTM (Universal Transverso de Mercator) com Datum WGS-84. As informações tomadas nas células amostrais foram associadas às suas respectivas coordenadas geográficas com o auxílio de uma planilha eletrônica. A Figura 1 ilustra o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área em estudo com o esquema de distribuição dos pontos na malha amostral.



**Figura 1** - MDE da área em estudo com a distribuição dos pontos amostrais na malha.

Os atributos de produção de planta foram determinados a partir da colheita da produção de café úmido (verde e maduro) proveniente da safra de 2010. A colheita foi iniciada em abril, obedecendo às condições exigidas pelo fruto, sendo feita quando os grãos iniciaram o amadurecimento (Figura 2A), o que na região Norte do ES, para o café conilon, ocorre normalmente nos meses de abril e maio. Os grãos de café de cada célula amostral, composto de três plantas, foram derriçados manualmente em peneiras, posteriormente colocados em sacos devidamente identificados e por fim, foram pesados em balança comercial, para a determinação do atributo PROD em cada ponto.

A amostragem da produção de café úmido em kg, utilizado na determinação do atributo PROD, foi utilizada também na determinação do atributo produtividade (PRODUT), por meio do seu beneficiamento, de acordo com as seguintes etapas: (a) secagem do café úmido realizada ao sol em terreiro de cimento (Figura 2B) para obtenção do café seco (em coco); (b) medição da umidade dos grãos para cada amostra, utilizando um medidor de umidade para grãos, modelo GEOLE400, estabelecendo como umida-

de padrão 12%, porcentagem no qual o café é comercializado em sacas/ha (Figura 2C); (c) pilagem do café seco feita com auxílio de máquina de beneficiamento (Figura 2D) para obtenção do café pilado (a 12% de umidade); (d) pesagem em balança com precisão de duas casas decimais após a vírgula. Com a obtenção das amostras de café pilado, conseqüentemente, foi possível a determinação do atributo PRODUT para cada ponto amostral, por simples transformação de dados.



**Figura 2** - (A) estágio de maturação dos frutos de café úmido na época da colheita; (B) secagem ao sol em terreiro de cimento das amostras de café úmido, para obtenção do café seco; (C) medidor utilizado na determinação da umidade dos grãos de café pilado; (D) máquina de pilagem utilizada no beneficiamento do café seco para determinação do café pilado.

Por ser mais difícil a obtenção do atributo PRODUT, devido ao alto custo com mão de obra e beneficiamento, foi determinado um menor número de pontos amostrais, em relação ao atributo PROD, sendo esses pontos escolhidos aleatoriamente. Desse modo, a sua estimativa para locais não amostrados foi feita com auxílio da cokrigagem, utilizando como covariável o atributo PROD. Ao mesmo tempo procurou-se avaliar se essa estimativa seria mais eficiente quando comparada com a simples aplicação da krigagem ordinária.

Para que o variograma cruzado seja calculado é necessário que a variável primária ( $Z_1$ ) e a covariável ( $Z_2$ ) tenham correlação linear, ou seja, as variáveis PRODUT e PROD devem apresentar uma alta correlação espacial. Na aplicação da cokrigagem é necessário também que as variáveis  $Z_1$  e  $Z_2$  apresentem dependência espacial individualmente ajustada a um modelo teórico e com parâmetros bem definidos. E por fim, as variáveis  $Z_1$  e  $Z_2$  devem apresentar dependência espacial em conjunto, dependência esta expressa pelo variograma cruzado.

De acordo com Vieira (2000), considerando duas variáveis  $\{Z_1(t_{1i}), i=1, \dots, n_1\}$  e  $\{Z_2(t_{2j}), j=1, \dots, n_2\}$ , com amostragens feitas no mesmo espaço (área ou tempo), o número de amostras de  $Z_2$ , variável secundária, deve ser bem superior ao número de amostras de  $Z_1$ , variável primária ( $n_2 \gg n_1$ ). Assumindo que a hipótese intrínseca está sendo atendida para cada variável individualmente e para a distribuição conjunta das variáveis, podem ser definidos os variogramas individuais e o variograma cruzado como:

$$Cov_{12}(h) = E \{Z_1(x+h)Z_2(x)\} - m_1 m_2 \tag{1}$$

e

$$Cov_{21}(h) = E \{Z_2(x+h)Z_1(x)\} - m_2 m_1 \tag{2}$$

Conseqüentemente, o variograma cruzado entre estas variáveis será:

$$\hat{\gamma}_{12}^*(h) = \frac{1}{2 N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ [Z_1(x_{1i}+h) - Z_1(x_{1i})][Z_2(x_{2j}+h) - Z_2(x_{2j})] \} \tag{3}$$

Com o ajuste dos variogramas individuais, do variograma cruzado e a escolha dos modelos mais adequados, serão definidos os parâmetros efeito pepita, alcance e patamar, necessários para a estimativa dos valores em posições não amostradas no campo, por meio da técnica de interpolação por krigagem e cokrigagem, definidas nas equações:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \text{ , para a krigagem,} \tag{4}$$

em que:  $\hat{Z}(x_0)$  é o valor estimado para local  $x_0$  não amostrado;  $Z(x_i)$  é o valor obtido por amostragem no campo; e  $\lambda_i$  é o peso associado ao valor medido na posição  $x_i$ ;

para a cokrigagem a estimativa de uma variável  $Z^*$  para qualquer local  $x_0$  deve ser uma combinação linear de  $Z_1$  e  $Z_2$ , ou seja:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_i Z_1(x_i) + \sum_{i=1}^{n_2} \lambda_i Z_2(x_i) \tag{5}$$

em que  $n_1$  e  $n_2$  são os número de vizinhos medidos de  $Z_1$  e  $Z_2$ , respectivamente, e  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  são os ponderadores associados a  $Z_1$  e  $Z_2$  os quais são distribuídos de acordo com a dependência espacial de cada uma das

variáveis entre si e com a correlação cruzada entre elas. Da mesma forma que a krigagem, para que este estimador seja ótimo, ele também deve ter variância mínima e ser não tendencioso.

A análise estatística descritiva foi explorada com o software Estatística versão 7.0 (STAT SOFT, 2004) e a análise geoestatística realizada no software GS<sup>+</sup> versão 7.0 (ROBERTSON, 2004), sendo os mapas confeccionados no software Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002). A identificação do método de interpolação mais eficiente na estimativa de valores da variável PRODUT em locais não amostrados, foi feita analisando visualmente o gráfico e os valores dos coeficientes gerados na validação cruzada.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a descrição dos dados pela Tabela 1, para o coeficiente de variação (CV), segundo a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), se verificou que o CV apresentou-se médio (12% a 60%) para a covariável PROD, tendo assim maior uniformidade, quando comparada com variável primária PRODUT que, mesmo com um número menor de pontos amostrados, apresentou CV alto (> 60%), demonstrando ter alta variabilidade.

**Tabela 1** - Análise descritiva das variáveis PROD e PRODUT.

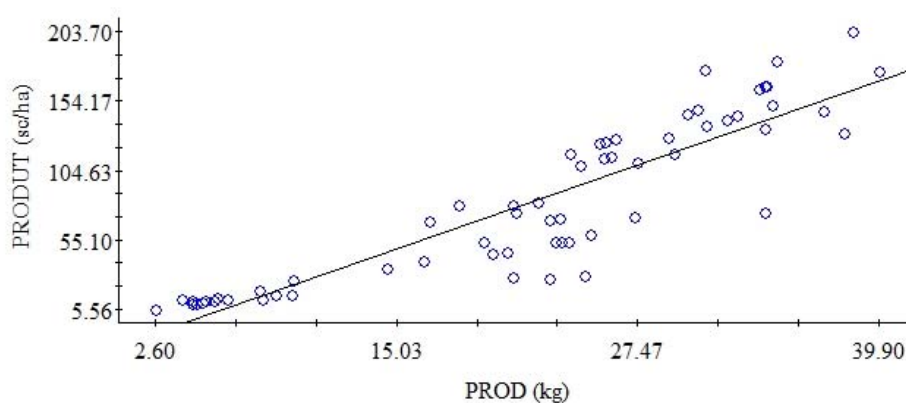
Estatísticas	Variáveis	
	PROD (kg)	PRODUT (sc/ha)
N <sup>1</sup>	87	63
Média	19,16	80,86
Mediana	21,20	71,11
Desvio Padrão	11,12	57,76
Coefficiente de Variação	58,03	71,43
Assimetria	-0,12	0,28
Curtose	-1,15	-1,23
Normalidade (p valor) <sup>2</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>
Coefficiente de Correlação (r)	0,899	

<sup>1</sup>números de pontos; <sup>2</sup>distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk (S-W) ao nível de 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo a 5% pelo teste de S-W, indicando distribuição normal dos dados.

Para a avaliação da normalidade dos dados, na Tabela 1 são apresentados também os coeficientes de assimetria e curtose, que pelos seus valores próximos de 0,0 (zero), para ambos os atributos, indicam tendência dos dados à distribuição normal, como é confirmado pelo teste de S-W, e ainda, no caso do atributo PROD, pela proximidade entre os valores de média e mediana. Segundo Eguchi (2001), se a distri-

buição não é normal, a média aritmética é uma medida muito influenciada por valores extremos, tornando-se uma medida de tendência central, não representativa do conjunto de dados. Com isso torna-se evidente a importância da geoestatística no complemento da estatística clássica para melhor interpretação dos atributos em estudo. Porém, a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, para sua aplicabilidade. É apenas conveniente que, o atributo não apresente extremidades da distribuição muito longas, para não comprometer as análises (CRESSIE, (1991), citado por Souza (2005).

Na relação linear entre as variáveis, como observado na Tabela 1, obteve-se um coeficiente de correlação linear ( $r$ ) de 0,899, indicando que existe uma forte associação positiva entre as variáveis, demonstrado também pela Figura 1, e que portanto, estimativas da PRODUT podem ser feitas com base na PROD.



$$Y = -24,267 + 4,8 * X$$

$$R^2 = 0,808$$

**Figura 1** - Gráfico com o modelo de equação linear e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da análise de regressão entre a covariável PROD e a variável primária PRODUT.

Como mostra a Tabela 2, a utilização da PROD, como uma covariável para a estimativa da PRODUT, provocou alteração no alcance da dependência espacial, assim como no restante dos parâmetros do variograma. O alcance ( $a$ ) teve um aumento de 37,9 metros, aumento este esperado, já que o alcance da covariável ( $a=575,7$ ) foi maior que o alcance da variável primária ( $a=394,3$ ), quando esta ajustada ao variograma simples. O efeito pepita ( $C_0$ ) aumentou de 12,4 para 15,6% sua contribuição no patamar ( $C_0+C$ ), refletindo um menor Índice de Dependência Espacial (IDE%), que caiu de 88 para 85%, mesmo assim, mantendo-se com dependência espacial forte segundo classificação proposta por Zimback (2001).

O principal parâmetro que o programa GS+ adota para a escolha do melhor ajuste do variograma é a Soma do Quadrado do Resíduo (RSS). Para a PRODUT, como mostra a Tabela 2, a RSS apresentou



menor valor no variograma cruzado. Esta mudança, juntamente com o valor para o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) e as pequenas alterações provocadas nos parâmetros, não foram suficientes para mostrar se a cokrigagem é um método mais eficiente que a krigagem ordinária para a estimativa da produtividade do café conilon. Com isso analisou-se os resultados da validação cruzada para ambos os métodos de interpolação.

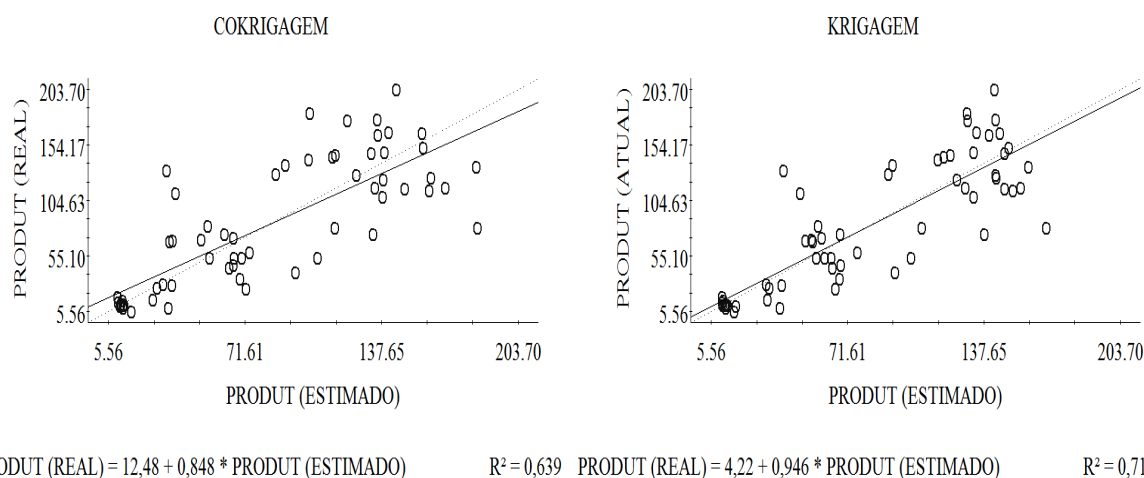
**Tabela 2** - Parâmetros dos variogramas ajustados para a covariável PROD e variável primária PRODUT e do variograma cruzado

Variável	Modelo	a(m)	$C_0+C_1$	$C_0$	IDE(%)	RSS	$R^2$
PROD	EXP	575,7	119,7	24,7	79	185	94
PRODUT	ESF	394,3	2964	368	88	2342	99
PRODUT x PROD	ESF	432,2	443,9	69	85	352	99

a(m) - alcance em metros;  $C_0+C_1$  - patamar;  $C_0$  - efeito pepita; IDE - Índice de Dependência Espacial; RSS - Soma de Quadrado do Resíduo;  $R^2$  - coeficiente de determinação; EXP - modelo exponencial; ESF - modelo esférico.

A Figura 2 mostra os resultados da validação cruzada para a estimativa da PRODUT por cokrigagem e krigagem ordinária. Observa-se que, quanto mais afastado estiver o modelo teórico (reta) da linha pontilhada, maiores serão os desvios entre as observações reais amostradas em campo e as estimadas pela krigagem e cokrigagem. Quando a reta estiver acima da linha pontilhada ela indicará superestimação dos valores e quando abaixo, subestimação dos valores das observações, com o valor do intercepto da reta passando a ser negativo.

Para saber se as observações da variável PRODUT foram melhores estimadas pela cokrigagem, é necessário comparar a sua validação cruzada com a da krigagem ordinária. Primeiramente, percebe-se visualmente na Figura da direita que, a reta está praticamente sobrepondo a linha pontilhada, evidenciando assim uma estimativa melhor das observações da variável pela krigagem, quando comparada com as apresentadas pela validação da cokrigagem à esquerda da Figura 2.



**Figura 2** - Validação cruzada baseada nos parâmetros do variograma cruzado ajustado para variável PRODUT tendo como covariável a PROD (à esquerda) e validação cruzada baseada nos parâmetros do variograma simples ajustado para variável PRODUT (à direita).

Na Tabela 3 são apresentados os valores do coeficiente de regressão e do intercepto, que constituem a equação da regressão da validação cruzada para cada interpolador. Os melhores valores são encontrados para a validação da krigagem ordinária, com coeficiente de regressão mais próximo de 1 (um) e intercepto mais próximo a 0 (zero), correspondendo a 0,946 e 4,22 respectivamente, resultando num coeficiente de determinação  $r^2 = 71,4 \%$ , demonstrando assim ser melhor estimador que a cokrigagem, com menor tendência e com variância tendendo a mínima.

**Tabela 3** - Coeficientes de validação dos métodos de interpolação utilizados para estimativa dos valores da variável PRODUT

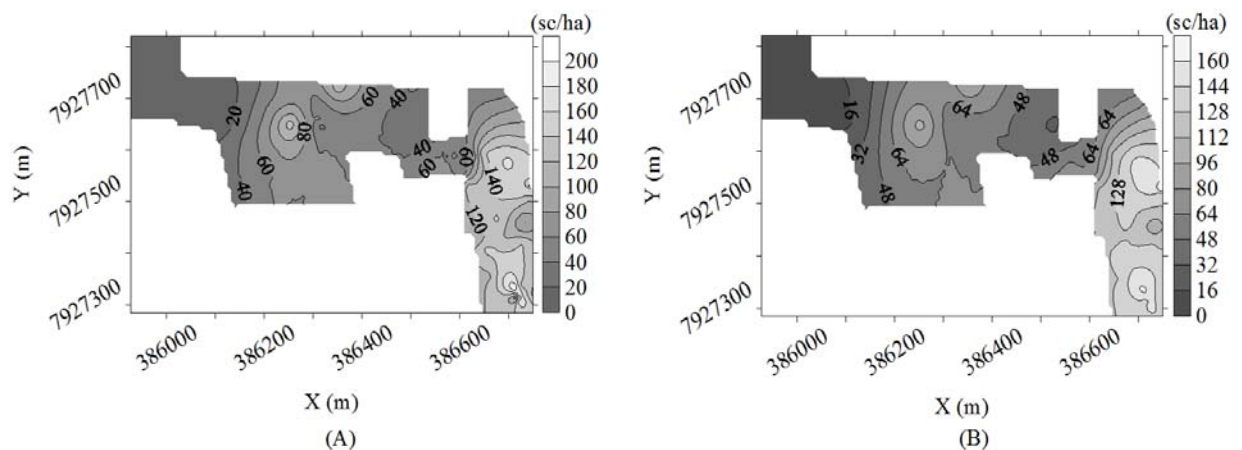
Interpolador	A	B	R <sup>2</sup>
Krigagem	4,22	0,946	0,714
Co-krigagem	12,48	0,848	0,639

a-intercepto; b- coeficiente de regressão; R<sup>2</sup>- coeficiente de determinação.

Neste caso, mesmo com um ajuste melhor do variograma cruzado para a variável PRODUT, evidenciado pelo menor valor da RSS, a aplicação da cokrigagem se tornou desnecessária e sem sentido, não devendo ser considerada, neste caso, para a realização das estimativas da produtividade do café conilon, pois, não se obteve nenhum ganho no uso da cokrigagem em relação à krigagem ordinária. Comportamento similar foi observado por Vieira (2000), quando tentou estimar valores de Nitrogênio em função do

Carbono e usando o mesmo reticulado (igual número de pontos) para a krigagem e cokrigagem. A principal explicação para o ocorrido baseia-se na malha amostral da variável PRODUT utilizada, que apresenta um número de observações bem próximo da variável PROD, o que segundo Vieira (2000), torna a dependência espacial da variável primária (PRODUT) expressa pelo variograma, tão forte que mascara o efeito da covariável (PROD) no variograma cruzado PRODUT versus PROD. Isto indica que a vantagem de se utilizar a cokrigagem só existirá quando a variável que se deseja estimar, ou seja, a variável primária, apresentar uma densidade de amostragem significativamente menor que a covariável, mesmo que se consiga ajuste para o variograma cruzado.

Na Figura 3 estão os mapas de contorno com isovalores da PRODUT do café conilon estimados por cokrigagem e krigagem.



**Figura 3** - (A) Mapa de isovalores da PRODUT estimado por co-krigagem. (B) Mapa de isovalores da PRODUT estimado por krigagem simples.

Como visto anteriormente na validação cruzada, o uso da cokrigagem não proporcionou ganhos significativos em relação à krigagem. Esse resultado é ainda confirmado na Figura 3, onde se verifica grande similaridade quanto à distribuição espacial de valores estimados de alta e baixa PRODUT, entre os mapas de cokrigagem e krigagem, com o processo de estimativa por cokrigagem parecendo superestimar valores em áreas de alta produtividade e subestimar em áreas de baixa produtividade.

#### 4 CONCLUSÕES

Devido à alta correlação espacial, o uso da produção de café úmido (PROD) em kg, como covariável, possibilitou estimar a produtividade (PRODUT) em sc/ha, do café conilon por meio da técnica de cokrigagem. Porém a validação da estimativa por cokrigagem não mostrou ganhos significativos em rela-

ção à validação cruzada da krigagem para a produtividade (sc/ha) do café conilon, mostrando nesse caso ser desnecessária sua aplicação. A explicação para este fato está associada à malha amostral da variável PRODUT utilizada, que apresentou um número de observações bem próximo da variável PROD, tornando a dependência espacial da variável primária (PRODUT) expressa pelo variograma, tão forte que mascara o efeito da covariável (PROD) no variograma cruzado PRODUT versus PROD.

## 5 REFERÊNCIAS

EGUCHI, E. S. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos de um solo hidromórfico no Município de Lavras-MG**. 2001. 85 f. Dissertação (Mestrado) - UFPA, Lavras.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 3060p.

FONTELES, H. R. da N.; YAMAMOTO, J. K.; ROCHA, M. M.; GANDOLFI, N. Geoestatística aplicada à modelagem da superfície freática a partir de dados do nível estático: o caso da porção nordeste de Fortaleza (CE). Solos e rochas. **Revista Brasileira de Geotecnia**, v. 29, n. 3, p. 331-339, 2006.

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

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFPA/FAMAT. Uberlândia - MG, Apostila, 77p, 2004.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. & MONTEIRO, R. C. **Exemplos de aplicação da cokrigagem**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 09, 17 pp. 2002. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide. Plainwell, **Gamma Design Software**, 2004. 152 p.

SOUZA, Z. M.; FILHO, M. V.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de fatores de erosão em Latossolo Vermelho Eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.105-114, 2005.

STAT SOFT Inc. **Programa Statistica for windows**. 7. ed. Tulsa (EUA): Stat Soft Inc, 2004. 1 CD-ROM.

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

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, 1980. P. 319-344.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - FCA-UNESP, Botucatu, 2001.