

Wellington Jorge Cavalcanti Lundgren¹, José Antônio Aleixo da Silva¹, Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira¹

ESTIMAÇÃO DE VOLUME DE MADEIRA DE EUCALIPTO POR COKRIGAGEM, KRIGAGEM E REGRESSÃO

RESUMO: No semiárido pernambucano na região do Polo Gesseiro do Araripe, onde é produzido 97% do gesso consumido no Brasil, um experimento florestal com 1875 árvores de eucaliptos foi cortado e todas as árvores foram cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. A localização de cada árvore foi demarcada num plano cartesiano, e uma amostra de 200 árvores foi retirada pelo processo inteiramente aleatório. Nas 200 unidades amostrais foram utilizados três métodos de estimação para a variável volume de madeira, análise de regressão, krigagem e cokrigagem. Para a cokrigagem a variável secundária foi o DAP (Diâmetro a Altura do Peito) e para a regressão foi utilizado o modelo de Spurr ou da variável combinada que utiliza duas variáveis explicativas a altura total da árvore (H) e o DAP. As variáveis volume e DAP apresentaram dependência espacial. Para comparar os métodos foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2), a distribuição residual dos erros (valores observados x estimados). Os melhores resultados foram conseguidos com a regressão $R^2 = 0,82$, volume total = 166,25 m³, a cokrigagem forneceu $R^2 = 0,72$ e volume total = 164,14 m³ e a krigagem teve $R^2 = 0,32$ e o volume total = 163,21 m³, o volume real do plantio era de 166,14 m³.

PREDICTION OF EUCALYPTUS WOOD BY COKRIGING, KRIGING AND REGRESSION

ABSTRAT: In the Gypsum Pole of Araripe, semiarid zone of Pernambuco, where is produces 97% of the plaster consumed in Brazil, a forest experiment with 1875 eucalyptus was cut off and all the trees were rigorously cubed by the Smalian method. The location of each tree was marked on a Cartesian plane, and a sample of 200 trees was removed by entirely random process. In the 200 sample trees, three estimation methods for variable volume timber, regression analysis, kriging and cokriging were used. To cokriging method, the secondary variable was the DBH (Diameter at Breast Height), and for the regression model of Spurr or the combined variable, it uses two explanatory variables: total height of the tree (H) and the DBH. The variables volume and DBH showed spatial dependency. To compare de methods it was used the coefficient of determination (R^2) and the residual distribution of the errors (real x estimated data). The best results were achieved with the Spurr equation $R^2 = 0.82$ and total volume estimated 166.25 m³. The cokriging provided and $R^2 = 0.72$ with total volume estimated of 164.14 m³ and kriging had $R^2 = 0.32$ and the total volume estimated of 163.21 m³. The real volume of the experiment was 166.14 m³. Key words: Forest inventory, Volume of timber, Geostatistics.

Palavras chave:
Inventário Florestal
Volume de Madeira
Geoestatística

Histórico:
Recebido 07/05/2012
Aceito 21/01/2015

Keywords:
Forest Inventory
Wood Volume
Geostatistics

Correspondência:
wellingtonlundgren@yahoo.com.br

DOI:
10.1590/01047760201521021532

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco - Recife, Pernambuco, Brasil

INTRODUÇÃO

A estimação do volume de madeira de um plantio de eucalipto é um processo que demanda tempo, trabalho e dinheiro e que depende entre outros fatores do número de amostras retiradas. A geoestatística surge como uma possibilidade de se realizar boas estimativas com um número menor de coletas de dados em campo do que as técnicas que usam a estatística clássica e tendo a vantagem de localizar espacialmente o volume de madeira dentro de um plantio, (Carvalho et al. 2002).

Na região do Araripe – PE encontra-se o pólo gesseiro do Araripe, um pólo industrial que concentra uma grande quantidade de indústrias gesseiras, que consomem muita energia. Essa energia em sua grande maioria é proveniente da derrubada da Caatinga (Araújo, 2004). Uma alternativa possível para essa demanda energética é o plantio de eucalipto para fornecimento de lenha. A determinação do volume produzido pela floresta plantada, segundo Leite e Andrade (2002), é necessária para se planejar o corte e a comercialização do produto final.

A necessidade de estimação do volume produzido pela floresta plantada segundo Leite e Andrade, (2002) é informação necessária para se planejar o corte e a comercialização do produto final.

Silva (2008) comparou seis modelos de regressão para volume de eucalipto na região do Araripe no mesmo plantio em que a atual pesquisa foi desenvolvida, ele considerou como o melhor deles o modelo de Silva et al. (1993) que utiliza quatro variáveis explicativas. Guimarães et al. (1996) mostraram a influência do número de amostras em equações volumétricas para o eucalipto. Leite e Andrade (2003) afirmam que a altura dominante deve ser considerada em estimativas volumétricas de plantios de eucaliptos e que as equações devem ser regionalizadas.

Já a geoestatística usa geralmente, duas técnicas básicas, descritas por Landin, (2002), a krigagem, em que a própria variável resposta depende apenas dela mesma e da distância entre suas medições. E a cokrigagem, que além da variável resposta (variável primária, de difícil medição) utiliza outra variável explicativa (variável secundária, de fácil medição e fortemente correlacionada com a primária) além de utilizar a distância entre suas medições.

No uso da geoestatística é condição impositiva que exista dependência espacial, vários trabalhos mostram que existe dependência espacial para alguns atributos florestais tais como DAP, altura, volume, área

basal etc. Rufino et al. (2006) verificaram dependência espacial para altura dominante, área basal, DAP e número de fustes. Mello et al. (2005b) encontrou dependência espacial para o volume de madeira de eucalipto.

Para a estimativa de volume de madeira de eucalipto encontram-se as condições ótimas para o uso da cokrigagem, pois é de conhecimento geral em ciências florestais a existência de forte correlação entre o DAP (variável de fácil medição) e o volume de madeira (variável de difícil medição). Lundgren (2011) encontrou forte correlação entre essas duas variáveis, além da já verificada dependência espacial dos dois atributos.

Essa pesquisa mostra que a cokrigagem é uma técnica promissora para o manejo florestal, e que as técnicas geoestatísticas demandam um número menor de medições em campo do que a regressão conseguindo resultados com erros menores que 5%. Nesse trabalho o erro cometido por cada uma das técnicas é conhecido, e não estimado, pois o volume de cada árvore foi medido e também o volume total de madeira existente na floresta.

O objetivo principal é verificar se o DAP fornece estimativa precisa de volume de madeira em floresta plantada de eucalipto, além de comparar as técnicas de estimação krigagem, cokrigagem e regressão.

MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida no município de Araripina – PE que está situado no extremo oeste do estado, no entorno da Chapada do Araripe e faz parte do Pólo Gesseiro do Araripe – PE, possuindo coordenadas geográficas de 07°27'37" S e 40°24'36" W e altitude de 831 metros (BARROS, 2009).

Aprecipitação média anual é de aproximadamente 650 mm, concentrando-se entre os meses de dezembro a março em que ocorrem mais de 70% do total anual ficando os demais meses com o restante o que provoca deficiências hídricas que se acumulam a partir do mês de maio até o mês de janeiro. O clima é do tipo BShw, semiárido, quente, com chuvas de verão-outono, pela classificação de Koppen. A temperatura média anual é de 24°C (ARAÚJO, 2004). Segundo EMBRAPA (2007), o solo é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo.

No plantio o espaçamento utilizado foi de 2 x 3 m em 4 blocos, cada bloco foi plantado inicialmente com 735 árvores. Os blocos estavam separados entre si por uma distância de 5 metros, cada bloco continha inicialmente 15 (quinze) parcelas constituídas de um único clone de 7 X 7 árvores, totalizando uma área por parcela de 216 metros quadrados. Os clones de

eucaliptos foram fornecidos pela empresa Suzano, os clones utilizados foram: *E. tereticornis* (Clone: C49), Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* (Clones: C51, C158, C80, C315, C101, C78 e C156), *E. urophylla* (Clones: C39, C41 e C33), *E. brassiana* (Clones: C27, C31, C25 e C11).

O sistema de coordenadas foi definido tendo o eixo X na direção do espaçamento de 3 metros indo de 0 a 174 metros e o eixo Y na direção do espaçamento de 2 metros indo de 0 a 138 metros. Esquema apresentado na Figura 1.

Cada árvore no plantio foi cubada rigorosamente pelo método de Smalian: $V = ((A_1 + A_2)/2) \times L$, em que V = volume da tora, A_1 = Área da base maior da tora, A_2 = Área da base menor da tora e L = comprimento da tora. Cada árvore foi derrubada com motosserra a uma altura de 20 cm do solo e medidos os diâmetros de 30 em 30 cm até a altura de 2,10 m, a partir dessa altura os diâmetros foram medidos de metro em metro com suta digital. Um total de 1875 árvores foram cubadas rigorosamente. Conhecendo-se o volume total do povoamento e o volume individual de cada árvore. Em seguida uma amostra sistemática desencontrada de tamanho igual a 200 foi retirada. A amostra cobriu toda a área de forma consistente, permitindo a informação do atributo o que facilitará a construção dos semivariogramas. Para os dois atributos foram testadas as normalidades pelo método de Kolmogorov-Smirnov usando o *software* GS+ (GAMMA, 2011).

Foi realizada a análise de tendência para os dois atributos pelo método apresentado por Camargo et al.

(2001). Foi colocado no plano cartesiano o eixo X versus os atributos e também o eixo Y versus os atributos, Se o coeficiente de determinação (R^2) for baixo podemos considerar a inexistência de tendência. A correlação entre os dois atributos foi calculada pelo método de Pearson. Uma correlação forte é útil tanto para a regressão como para a cokrigagem.

A existência de dependência espacial para os atributos foi verificada pelo semivariograma
$$Y^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2$$
 em que $Y^*(h)$ = semivariância amostral, h = distância entre os dois valores medidos, $N(h)$ = número de pares de pontos medidos, $Z(x_i)$ = valor medido no ponto x_i , $Z(x_i+h)$ = valor do atributo medido a uma distância h do ponto $Z(x_i)$, x_i = local no plano cartesiano (X,Y).

Construído o semivariograma amostral, existem alguns modelos de semivariogramas teóricos que podem ser ajustados a ele, os mais utilizados são:

$$1) \text{ Esférico: } Y(h) = C_0 + C \times \left[1,5 \left(\frac{h}{A} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right]$$

$$2) \text{ Exponencial: } Y(h) = C_0 + C \times \left[1 - \exp \left(-\frac{h}{A} \right) \right]$$

$$3) \text{ Gaussiano: } Y(h) = C_0 + C \times \left[1 - \exp \left(-3 \times \left(\frac{h}{A} \right)^2 \right) \right]$$

4) Linear: $Y(h) = C_0 + \left[h \left(\frac{C}{A} \right) \right]$ em que: $Y(h)$ = semivariância teórica, C_0 = efeito pepita, h = distância, C = Patamar e A = alcance. O modelo que obtiver maior coeficiente de determinação (R^2) será o escolhido. (LUNDGREN, 2011).

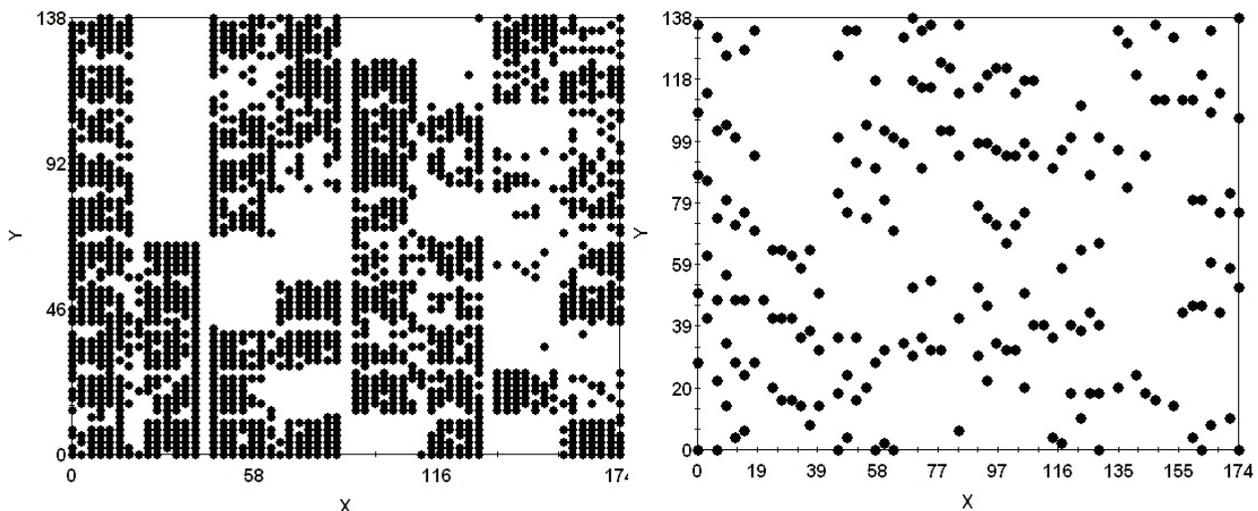


FIGURA 1 Posição das árvores do plantio no plano cartesiano com 1875 árvores (Esquerda) e posição da amostra com 200 árvores (Direita).

FIGURE 1 Position tree planting in the Cartesian plane trees in 1875 (Left,) and position of the sample with 200 trees (Right).

Quando a semivariância se comporta de maneira diferente dependendo da direção em que é observada tem-se a anisotropia, fato que obriga a utilização de diferentes semivariogramas para cada direção. Para a análise da existência de anisotropia, quatro diferentes semivariogramas foram construídos nas direções 0°, 45°, 90° e 135° (LANDIN, 1998). Escolhido o modelo teórico e retirada a tendência se ela existir pode-se estimar o valor do atributo em qualquer local dentro do polígono em estudo usando-se a krigagem descrita a seguir:

$Z_{x_0}^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{x_i}$ com a condição de que $\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$ em que: $Z_{x_0}^*$ = valor do atributo estimado no ponto x_0 , N = número de pontos, Z_{x_i} = valor do atributo no ponto x_i , λ_i = peso da interpolação.

A semivariância cruzada verifica a existência de dependência espacial conjunta para os dois atributos e a sua existência permite a efetivação da cokrigagem (LANDIN et al. 2002). A semivariância cruzada é obtida pela equação

$$Y_{12}^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{j=1}^{N(h)} \{[Z_1(x_i) - Z_1(x_i + h)] \cdot [Z_2(x_i) - Z_2(x_i + h)]\}$$

em que $Y_{12}^*(h)$ = semivariância cruzada amostral, $Z_1(x_i)$ = valor da variável primária medido no ponto x_i , $Z_1(x_i + h)$ = valor da variável primária medido a uma distância h do ponto $Z_1(x_i)$, x_i = local no plano cartesiano (X, Y) , $Z_2(x_i)$ = valor da variável primária medido no ponto x_i , $Z_2(x_i + h)$ = valor da variável primária medido a uma distância h do ponto $Z_2(x_i)$. Escolhido o modelo teórico que melhor se ajusta a semivariância cruzada amostral, pode-se utilizar a cokrigagem para estimar o valor do atributo em qualquer ponto dentro do polígono em estudo, a cokrigagem é descrita por Landin (1998) como: $Z_1^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_{1i} Z_{1i}(x_{1i}) + \sum_{j=1}^N \lambda_{2j} Z_{2j}(x_{1j})$ com

a imposição de que $\sum_{i=1}^N \lambda_{1i} = 1$ e $\sum_{j=1}^N \lambda_{2j} = 1$ em que: $Z_1^*(x_0)$ = valor estimado do atributo Z_1 no ponto x_0 , $Z_1(x_{1i})$ = valor atributo Z_1 no ponto x_{1i} , $Z_2(x_{1j})$ = valor do atributo Z_2 no ponto x_{1j} , N = número de pontos, λ_{1i} e λ_{2j} = pesos das interpolações para os atributos Z_1 e Z_2 , x_{1i} e x_{1j} = pontos onde os atributos Z_1 e Z_2 foram medidos.

Para a construção dos semivariogramas e mapas de krigagem, cokrigagem e estatísticas clássicas foi utilizado o software GS+ da Gamma Desing, (Robertson, 1998).

Landin (1998) apresenta um avaliador de dependência espacial denominado de $ADE = (\text{patamar} - \text{efeito pepita})/\text{patamar}$, em que, Patamar = o valor da semivariância quando a distância deixa de influenciá-la, efeito pepita = microestruturas não captadas pela distância amostrada, por erros de amostragem, e ou

erros de análise (VALENTE, 1989). Quando o $ADE < 25\%$, a dependência espacial é considerada fraca; ADE entre 25 e 75% é moderada, e $ADE > 75\%$ possui forte dependência espacial.

O modelo de regressão utilizado foi o de Spurr. Esse modelo utiliza duas variáveis explicativas, o DAP e a altura, sendo descrito pela equação $V = a + b(DAP^2 \times H)$, em que, V = volume, a e b = coeficientes da equação, DAP = diâmetro a altura do peito e H = altura da árvore. Os parâmetros do modelo foram encontrados pelo software STATISTICA (Statsoft 1995). A escolha desse modelo se deve ao fato de que é comumente utilizado para estimação de volume em Ciências Florestais. Nesse trabalho usamos as alturas reais de cada uma das árvores, o que induz a uma melhora considerável para as estimativas do volume pela equação de regressão.

Para a comparação entre as técnicas foi usado o erro real cometido pela estimação para cada árvore usando o gráfico de valores observados versus valores estimados e o valor do coeficiente de correlação (R), e sendo conhecido o volume total real, também foi comparada a melhor estimativa total de volume pela diferença entre valor real total e valor total estimado. Para comparação entre as técnicas krigagem e cokrigagem também foram construídos mapas de erros usando o software GS+, (GAMMA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nenhuma das 3 variáveis apresentaram normalidade pelo teste de Kolmogorov-Sminorv. Mello (2004) afirma que "não é necessário que o atributo tenha distribuição Normal para que as técnicas geoestatísticas sejam utilizadas, porém essa característica é desejável, pois assim ela ganha propriedades estatísticas ótimas". Os valores das estatísticas descritivas das variáveis analisadas tanto para os dados populacionais quanto para os dados amostrais são apresentados na Tabela 1.

Não houve uma grande diferença entre os valores das estatísticas amostrais e populacionais, indicando que a amostra representa bem a população. O CV do volume foi regular enquanto os CV do DAP e da altura foram baixos. A correlação entre a variável primária (V) e as variáveis explicativas foram 0,88 para ($V - DAP$) e 0,71 para ($V - H$) ambas consideradas altas.

A equação volumétrica para o modelo de regressão foi: $V = 0,016021 + 0,00003(DAP^2 \cdot H)$. O gráfico dos valores observados versus os estimados pela regressão encontram-se na figura 04. O R^2 para a regressão foi de 0,83, o que é considerado alto.

TABELA 1 Estatísticas descritivas para a população e amostra das variáveis volume (V), DAP e altura (H). CV = coeficiente de variação, N = número de dados, D. padrão = Desvio padrão.

TABLE 1 Descriptive statistics for population and sample of variables volume (V), DBH and height (H). CV = coefficient of variation, N = number of data, D. padrão = standart deviation.

Estatísticas	Média		Mediana		Variância		D. Padrão		CV	
N	1875	200	1875	200	1875	200	1875	200	1875	200
V(m ³)	0,09	0,09	0,07	0,08	0,003	0,002	0,052	0,045	59,04	54,04
DAP (cm)	1,53	12,10	11,00	11,54	7,84	7,96	2,80	2,82	24,27	23,32
H (m)	5,54	15,52	15,54	15,65	3,75	4,52	1,94	2,13	12,46	13,71

Pela regressão a soma dos volumes estimados foi de 166,25 m³ enquanto o volume total verdadeiro é de 166,14 m³ o que representa um erro de 0,11 m³, ou seja, um erro de 0,07 %.

Para a geoestatística os dados dos dois atributos não apresentaram tendência nem anisotropia, podendo ser construído o semivariograma omnidirecional descrito na equação 1. A existência de dependência espacial foi confirmada pelos semivariogramas, tanto para o volume de madeira quanto para o DAP, fato que coincide com os trabalhos de Mello (2004) e Lima et al. (2010), o semivariograma cruzado também apresentou dependência espacial. A Figura 2 mostra esses semivariogramas.

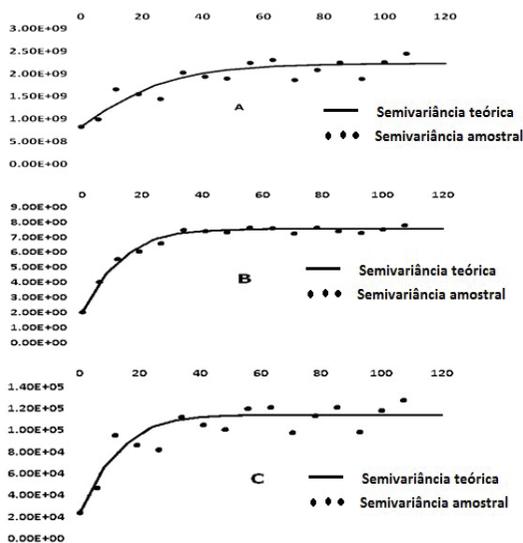


FIGURA 2 Semivariograma omnidirecional do volume (A), semivariograma omnidirecional do DAP (B) e semivariograma cruzado (V – DAP) (C).

FIGURE 2 Omnidirectional Semivariogram for volume (A), Omnidirectional semivariogram for DAP (B) and cross semivariogram (V - DAP) (C).

O modelo que apresentou maior coeficiente de determinação (R^2) foi o exponencial. As estimativas dos parâmetros para cada um dos semivariogramas

experimentais estão na Tabela 2. O ADE pode ser considerado alto para o semivariograma e DAP. O ADE pode ser considerado alto para o semivariograma cruzado e moderado para os semivariogramas omnidirecionais do volume e DAP.

TABELA 2 Estimativas dos parâmetros dos semivariogramas omnidirecional e cruzado em que Vol = volume, Exp. = Exponencial.

TABLE 2 Parameters estimates of the omnidirectional and cross semivariograms Vol = volume, Exp = Exponential.

Parâmetro	Modelo	Efeito Pepita	Alcance	Patamar	R^2	ADE
V	Exp	0,0009	76,80	0,002	0,74	61,7
DAP	Exp	2,06	36,30	7,543	0,96	72,7
V – DAP	Exp	0,0001	30,00	0,112	0,67	99,9

O alcance teórico do volume no semivariograma foi de 230 m. Este resultado corrobora os resultados de Mello (2005a) que encontrou alcance para plantio de eucaliptos de 250 m e Mello et al. (2009) encontrou alcance de 280 m também para plantio de eucalipto. O alcance do DAP foi menor (108 m), Rufino et al.(2006) afirma ter encontrado dependência espacial para o DAP, porém não fornece o alcance do atributo.

A Tabela 3 mostra que a estimativa total da regressão foi de 166,25 m³, a krigagem estimou o volume total em 163,21 m³ e a cokrigagem estimou o volume total em 164,18 m³. Assim a melhor estimativa de volume total foi obtida pela técnica regressão já que o volume real era de 166,14 m³.

Os mapas da krigagem e cokrigagem para o volume foram construídos e estão na Figura 3. Os dois mapas de volume apresentaram estrutura espaciais semelhantes. Visualmente percebe-se uma maior suavidade nas linhas de contorno para o mapa da cokrigagem.

Os mapas de desvios mostram que a cokrigagem conseguiu resultados mais confiáveis que a krigagem. A

Figura 3 apresenta esses mapas

A Figura 4 mostra os gráficos dos valores observados versus os estimados pela regressão, krigagem e cokrigagem, o R² da cokrigagem foi maior do

que o da krigagem e o da regressão foi maior do que o da cokrigagem, a informação adicional do DAP melhorou a estimativa dos volumes para a construção dos mapas, a regressão forneceu o melhor resultado.

TABELA 3 Estimativas e erros para as três técnicas.

TABLE 3 Estimates and errors for the three techniques.

Erros	Técnica		
	krigagem	cokrigagem	regressão
Volume (m ³)	163,21	164,14	166,25
Erro total (m ³)	-2,89	-1,96	0,11
Erro %	-1,74	-1,12	0,07
R	0,57	0,85	0,91

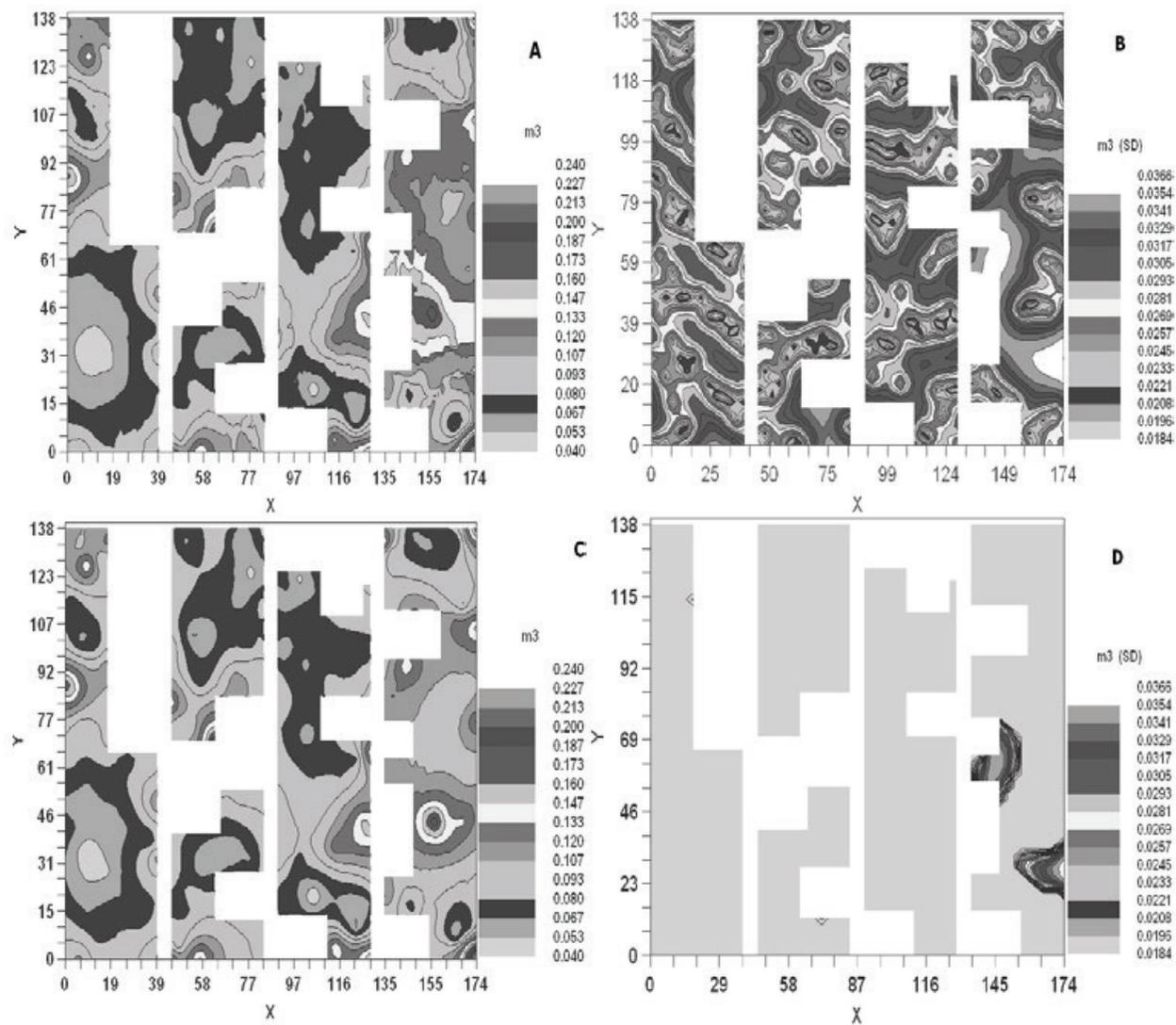


FIGURA 3 Mapas da krigagem (A) e desvios padrão da krigagem (B), cokrigagem (C) e desvios padrão da cokrigagem (D).

FIGURE 3 Maps kriging (A) and kriging standard deviations (above and right), cokriging (C) and cokriging standard deviations (D).

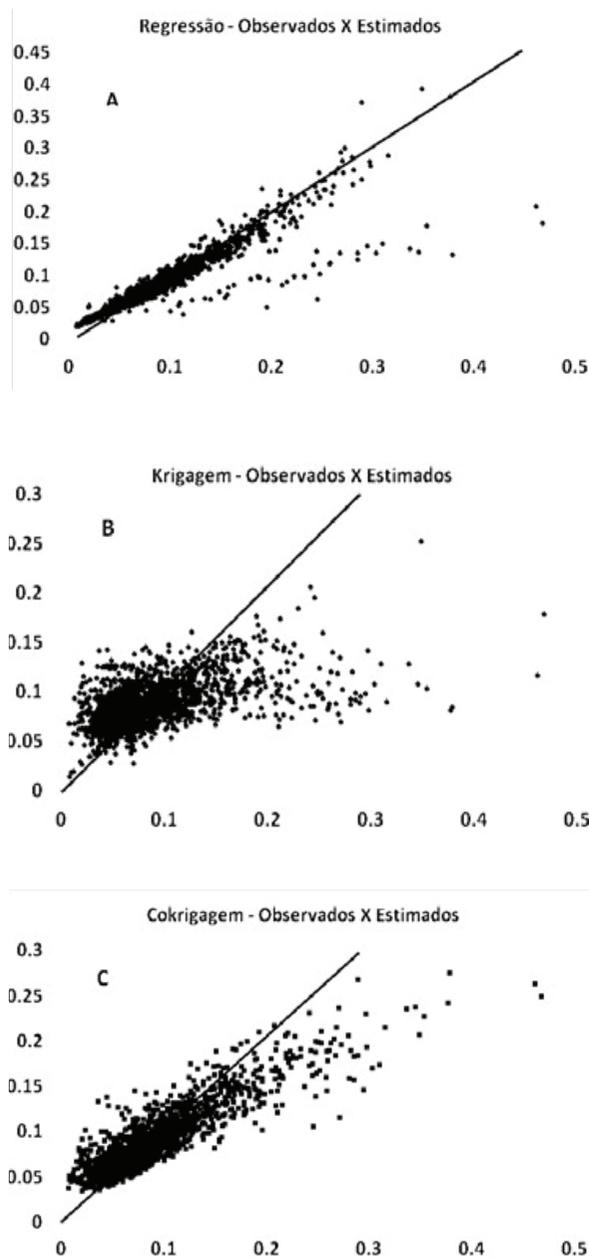


FIGURA 4 Gráficos dos valores observados x estimados para regressão (A), krigagem (B) e cokrigagem (C).

FIGURE 4 Plots of the estimated x observed values estimated for regression (A), kriging (B) and cokriging (C).

A regressão foi a técnica que forneceu menores erros, porém a regressão tem a exigência de que para a estimação do volume de uma árvore ainda em campo, seja necessário que se vá ao campo novamente e se realize as medições ou estimativas das variáveis explicativas. Na geoestatística esse trabalho não é mais necessário, para se estimar o volume de uma árvore ainda no campo, é

apenas necessário se conhecer sua localização no plano cartesiano.

CONCLUSÕES

1 – A Regressão foi a melhor técnica para estimativa de volume.

2 – A krigagem forneceu um baixo valor de R, porém a estimativa total teve um erro percentual menor que 5% valor comumente considerado baixo para inventários florestais, apesar do R baixo, o mapa da krigagem mostrou-se útil para previsões localizadas geograficamente.

3 – A cokrigagem foi melhor que a krigagem na estimação do volume e pode ser usada em inventários florestais.

4 – O DAP mostrou-se uma variável explicativa útil tanto para estimativas realizadas pela regressão como pela cokrigagem.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, S. M. S. **O pólo gesseiro do Araripe: Unidades geo-ambientais e impactos da mineração.** 2004. 276 p. Tese (Doutorado em Ciências, Área de Administração e Política de Recursos Minerais), Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.
- BARROS, B. C. de. **Volumetria, densidade, carbono e calorimetria de espécies nativas e exóticas no pólo gesseiro do Araripe - PE.** 2009. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- CAMARGO, E. C. G.; DRUCK, S.; CÂMARA, G. **Análise de Superfícies por Geoestatística Linear.** In: Análise Espacial de Dados Geográficos. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap3-superficies.pdf>. Acesso em: 28/09/2014.
- 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.** *Pesq. Agropec. Bras*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151 – 1159, Ago. 2002.
- EMBRAPA, **Síntese do Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos da Folha Crato.** Comunicado técnico 48. dez/2007. Disponível em: http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/comtec48_2007folha_crato.pdf. Acesso em: 11/03/2011.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences.** Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2011. Disponível em: <http://www.gammadesign.com/>. Acesso em: 11/03/2011.

- GUIMARÃES, D. P. e LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Rev. Scientia Forestalis**. n. 50, p. 37-42, dez, 1996.
- LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**, São Paulo, ed. Fundação Editora da UNESP, 1998, p. 63.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. **Exemplos de Aplicação de cokrigagem**, UNESP / Campus de Rio Claro. Departamento de Geologia Aplicada – IGCE. Texto Didático – 09. 2002.
- LEITE, H. G. e ANDRADE, V. C. L. de. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.301-310, 2003.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.
- LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. de P. e; NARIMATSU, K.C.P.; SILVA, M.G.da e QUEIROZ, H.A. de. Atributos físico-químicos de um latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, vol. 34. p. 163-173, 2010.
- LUNDGREN, W. J. C. **Uso da geoestatística na estimativa volumétrica de clones de eucalyptus no Pólo Gesseiro do Araripe**. 2011. 165 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Disponível em: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4729/Tese_Wellington-Jorge-Cavalcanti-Lundgren.pdf?sequence=1. Acesso em 28/09/2014.
- MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Recurso Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba. Estado de São Paulo – Brasil.
- MELLO J. M. de, BATISTA J. L. F., OLIVEIRA, M. S. de, JÚNIOR, P. J. R. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 113-126, abr./jun. 2005a.
- MELLO, J. M. de.; BATISTA, J.L.F.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. e OLIVEIRA, M.S. de. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Rev. Scientia Forestalis**, n. 69. p. 25-37. dez/2005b.
- MELLO, J. M. de; DINIZ, F.S.; OLIVEIRA, A.D. de; MELLO, C.R. de; SCOLFORO, J.R.S. e ACERBI JÚNIOR, F.W. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.185-194, 2009.
- ROBERTSON, G.P. GS⁺: **Geostatistics for the environmental sciences**. Versão 5.03 Beta, Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- RUFINO, T.M.C; THIERSCH, C.R.; FERREIRA, S.O.; KANEGAE JÚNIOR, H. e FAIS, D. Uso da Geoestatística no Estudo da Relação entre Variáveis Dendrométricas de Povoamentos de *Eucalyptus sp.* e Atributos do Solo. **Ambiência** Guarapuava, PR v.2 p. 83-93 Edição Especial 1, 2006.
- SILVA, J.A.A.; MEUNIER, I.M.J.; BORDERS, B.E.; FARIAS, G.G.A.; ASSUNÇÃO, E. P. Equação volumétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, na região de Barbalha, Ceará, usando o volume da primeira tora como variável independente. **Revista Árvore**, v.17, p.30-37, 1993b.
- SILVA, S. M. F. S. da. **Comparação entre equações volumétricas regionais e equações baseadas em volumes da primeira tora em clones de eucalyptus na chapada do Araripe- PE**. 2008, 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE. Brasil.
- STATSOFT. **STATISTICA for Windows [Computer Program Manual]**. Inc. (1995). Tulsa, OK: StatSoft, Inc. 2325 East 13th Street, Tulsa, OK, 74104.
- VALENTE, J. M. G. P. **Geomatemática – Lições de Geoestatística**. Ouro Preto. Ed. da Fundação Gorceix. 25 p. v. 8. 1989.