

Modelagem geoestatística para prever o volume de madeira em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. Uma abordagem bayesiana.

Samuel de Pádua Chaves e Carvalho¹; Paulo Justiniano Ribeiro Júnior²

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a predição volumétrica por talhão em povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp avaliados três cenários de krigagem. A primeira faz uso da krigagem ordinária clássica em que é considerado que existe correlação espacial entre os dados e que a média é constante em toda área. A segunda usa o método da inferência bayesiana para estimação do parâmetro espacial ϕ , definindo γ discretizada como priori do mesmo. Por fim foi utilizada krigagem por inferência bayesiana para estimação dos parâmetros espaciais ϕ e γ relativo definindo γ e recíproca, ambas discretizadas como priori destes parâmetros. Os resultados mostraram que há uma oscilação nos valores preditos quando conflitados os diferentes cenários de análise.

Palavras-chave: Geoestatística, Mapas de Predição, Acurácia

Abstract

The aim of the study was to evaluate the prediction volumetric plots in clonal *Eucalyptus* sp evaluated three scenes kriging. The first makes use of classical ordinary kriging is considered that there is correlation between the data and the average is constant in every area. The second use Bayesian inference method to estimate the spatial parameter ϕ , γ setting it as discretized. Finally kriging was used Bayesian inference to estimate the spatial parameters and so on defining ϕ γ and reciprocal, both discretized as the principle of parameters. The results show that there is an oscillation in the predicted values when conflicted the different scenes of analysis.

Keywords: Geostatistics, Predictive map, Accuracy

¹Engenheiro Florestal. Doutorando em Recursos Florestais – Departamento de Ciências Florestais – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ESALQ – Universidade de São Paulo/USP – Cx. P. 9 – 13.418-900 – Piracicaba, SP, Brasil – spcarvalho@usp.br

² Engenheiro Agrônomo. Professor Dr. em Estatística – Departamento de Estatística – Universidade Federal do Paraná/UFPR – Cx. P. 19081 – 81.531-990 – Curitiba, PR, Brasil – paulojus@ufpr.br

1. Introdução

Para Couto e Vetorazzo (1999) uma das principais finalidades do inventário florestal é a quantificação do estoque de madeira comumente expresso em volume por unidade de área. Sua quantificação pode ser dada diretamente por métodos destrutivos ou indiretamente por métodos não destrutivos. Leite e Andrade (2002) propuseram uma nova metodologia para conduzir inventários sem a necessidade do abate de árvores, também conhecido como método da altura relativa. Os autores comentam que se trata de uma metodologia relativamente rápida e eficaz com bons níveis de precisão para conduzir inventários florestais sem a necessidade do uso de equações volumétricas para estimativa do volume individual de árvores.

Além da quantificação do estoque de madeira como comentado por Couto e Vetorazzo (1999) pode-se dizer que outra grande finalidade do inventário florestal é conhecer a dinâmica das florestas e prever o estoque de madeira presente e futuro através das redes de parcelas permanentes que são tradicionalmente instaladas nos plantios florestais. Diversos são os procedimentos e intensidades amostrais utilizados pelas empresas do setor conforme mencionado por Péllico Neto e Brena (1997) apud Mello et al (2006). Pode-se dizer que um padrão médio é uma intensidade de uma parcela de 400m² representando 10 hectares ou 100.000m², totalizando um percentual amostral de 0,4%.

Verificado o alto custo dos procedimentos padrões de inventário, uma alternativa para fins de redução destes custos é o uso de técnicas geoestatísticas para prever o volume de madeira por talhão. Em nível de Brasil e em particular para povamentos equiâneos poucos são os trabalhos desenvolvidos nesta área de estudo, com destaque para Mello et al (2006) em que o mesmo propõe o uso de técnicas geoestatísticas para prever o volume de madeira por talhão através da krigagem em blocos, encontrando melhorias de precisão com erros variando de 9 a 32% para estimadores clássicos e entre 8 a 12% para os estimadores geoestatísticos. Algumas dissertações e teses foram desenvolvidas em plantios florestais na última década como Mello (2004), Assis (2005), Oda (2005), Guedes (2009), Zonete (2009).

Este trabalho tem por objetivo avaliar três estratégias de krigagem para prever o volume de madeira em talhões de *Eucalyptus* sp clonal.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

O trabalho foi conduzido em três talhões de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp localizados no estado de São Paulo, região do vale do Paraíba, região esta, que se encontra na fuso 23 Sul.

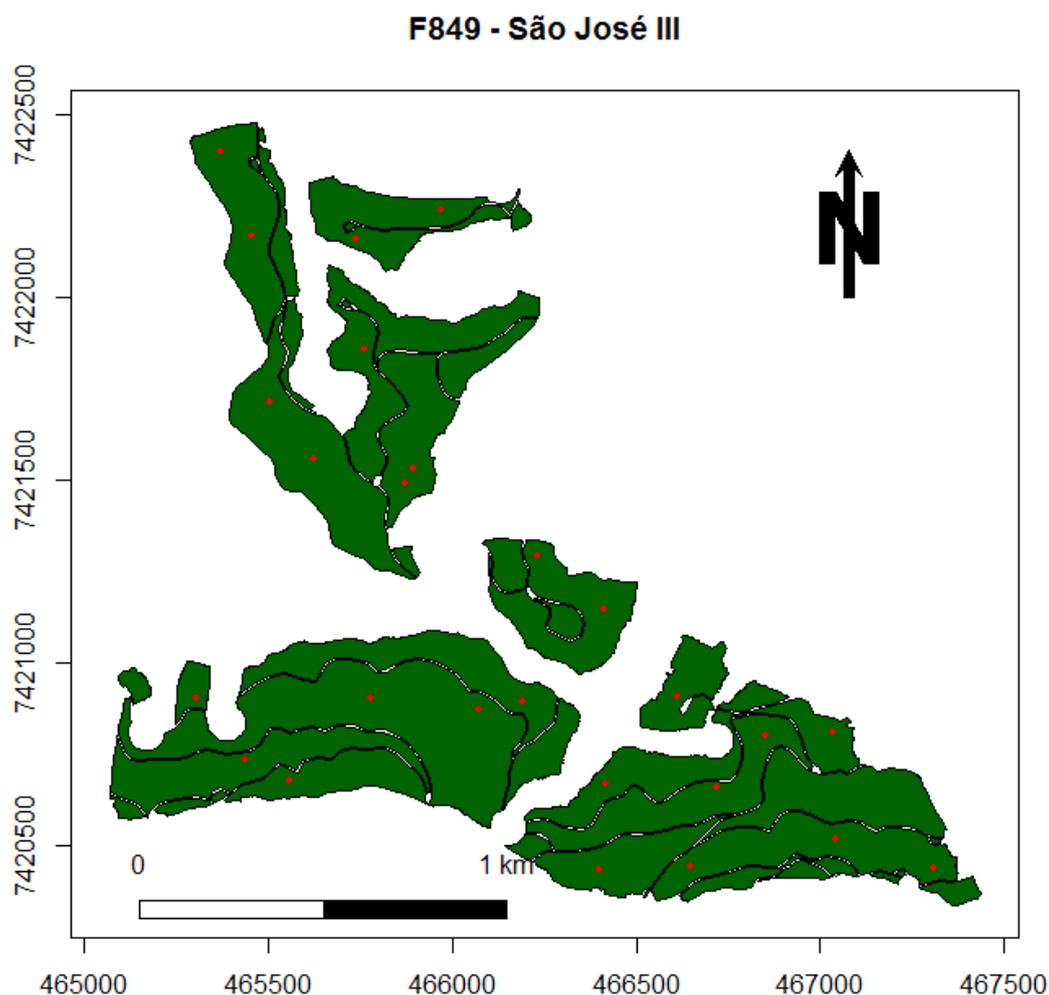


Figura 1 – Área de estudo e parcelas de campo

O clima da região, segundo Molion (1975) apud Macedo (2009) é do tipo Aw, conforme classificação de Köppen, com um total anual de precipitação em torno de 1.100 mm, em que há uma estação seca de inverno com totais mensais de precipitação inferiores a 50 mm, que ocorre entre os meses de abril e setembro. As temperaturas médias do ar oscilam entre 17,7°C em julho e

23,9°C em fevereiro, com umidade relativa média do ar em torno de 76%, o que, segundo Silva (1989) caracteriza uma região de clima amêno.

Os solos desta região são predominantemente do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo fase rasa com probabilidade de ocorrência de Cambissolos e Podzólicos sendo que este comportamento é dado em função do tipo topográfico do terreno, mas todos com textura argilosa, perfil A moderado ou proeminente, com relevo forte ondulado ou montanhoso (LEPSH E OLIVEIRA, 1987; EMBRAPA, 1999; BRASIL, 1960 apud MACEDO, 2009).

Quanto ao manejo empregado na área, todos os talhões estão sob regime de alto fuste e espaçamento médio predominante de 3,0m em entrelinha e 2,0m em linha de plantio, o que em média totaliza 1667 plantas por hectare.

2.2 Dados

Os dados foram coletados no período de julho a agosto de 2011. De acordo com a figura 1 foram instaladas 26 parcelas de área de 400m² em uma fazenda de área aproximada de 140 hectares, o que retorna uma intensidade amostral aproximada de 1 parcela a cada 5,3 hectares, representando portanto, 0,7% de representatividade em área total. Esta pode ser considerada relativamente alta se considerada a intensidade utilizada nos principais empreendimentos do setor.

Destas parcelas foram mensuradas algumas informações dendrométricas como: altura de árvores dominantes e codominantes, altura média total, diâmetro a 1,30 m do solo, área basal e volume total de madeira com casca, além das coordenadas destes pontos. A seguir é apresentado um resumo destes dados.

Tabela 1 – Resumo dos dados coletados na área de estudo no estudo.

Variável dendrométrica	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de Variação
Hdominante [m]	22,70	24,68	28,10	1,5012	6,08
Htotal [m]	18,60	22,16	25,00	1,5432	6,96
Diâmetro [cm]	12,90	14,14	15,50	0,5987	4,23
Area Basal [m ²]	22,62	27,00	31,15	2,0064	7,43
Volume total [m ³ .ha ⁻¹]	211,40	271,50	346,50	33,0325	12,17

Os dados demonstram uma menor variabilidade para outras variáveis quando comparado ao volume, sendo esta última comumente de maior interesse e utilizada neste estudo em particular.

2.3 Procedimentos estatísticos

Uma maneira genérica de expressar um modelo geoestatístico é dada a seguir (Eq.1). Este é um modelo para os dados $Y = \{Y_1, \dots, Y_n\}$ condicionado ao processo S.

$$[Y, S|\theta] = [S|\theta][Y|S, \theta] \quad \text{Eq.1}$$

Em que:

S = o conjunto de processos de sinal $\{S(x) : x \in \mathbb{R}^2\}$.

θ = notação para os parâmetros a serem estimados

Na abordagem geoestatística convencional assume-se que S é um processo gaussiano multivariado, estacionário e isotrópico. A dependência espacial é comumente avaliada por meio das análises dos semivariogramas empíricos ou estimados.

A distribuição preditiva clássica de S é condicional a distribuição $[Z|Y, \theta]$ que, a princípio, pode ser obtida a partir da especificação de um modelo de aplicação do teorema de Bayes. Para qualquer objeto de predição G, sendo G uma função determinística de S, a distribuição preditiva pode ser ou não analiticamente calculada (DIGGLE e RIBEIRO JR., 2007).

A distribuição amostral $p(x|\theta)$ define esta relação (Eq.2). A ideia de que, após observar $X = x$ a quantidade de informação sobre θ aumenta é bastante intuitiva e o teorema de Bayes é a regra de atualização utilizada para quantificar este aumento de informação:

$$p(\theta|x) = \frac{p(\theta, x)}{p(x)} = \frac{p(x|\theta)}{p(x)} \quad \text{Eq.2}$$

Em que: $p(\theta|x)$ corresponde à posteriori, $p(x) = \int p(x|\theta)$ recebe o nome de densidade preditiva.

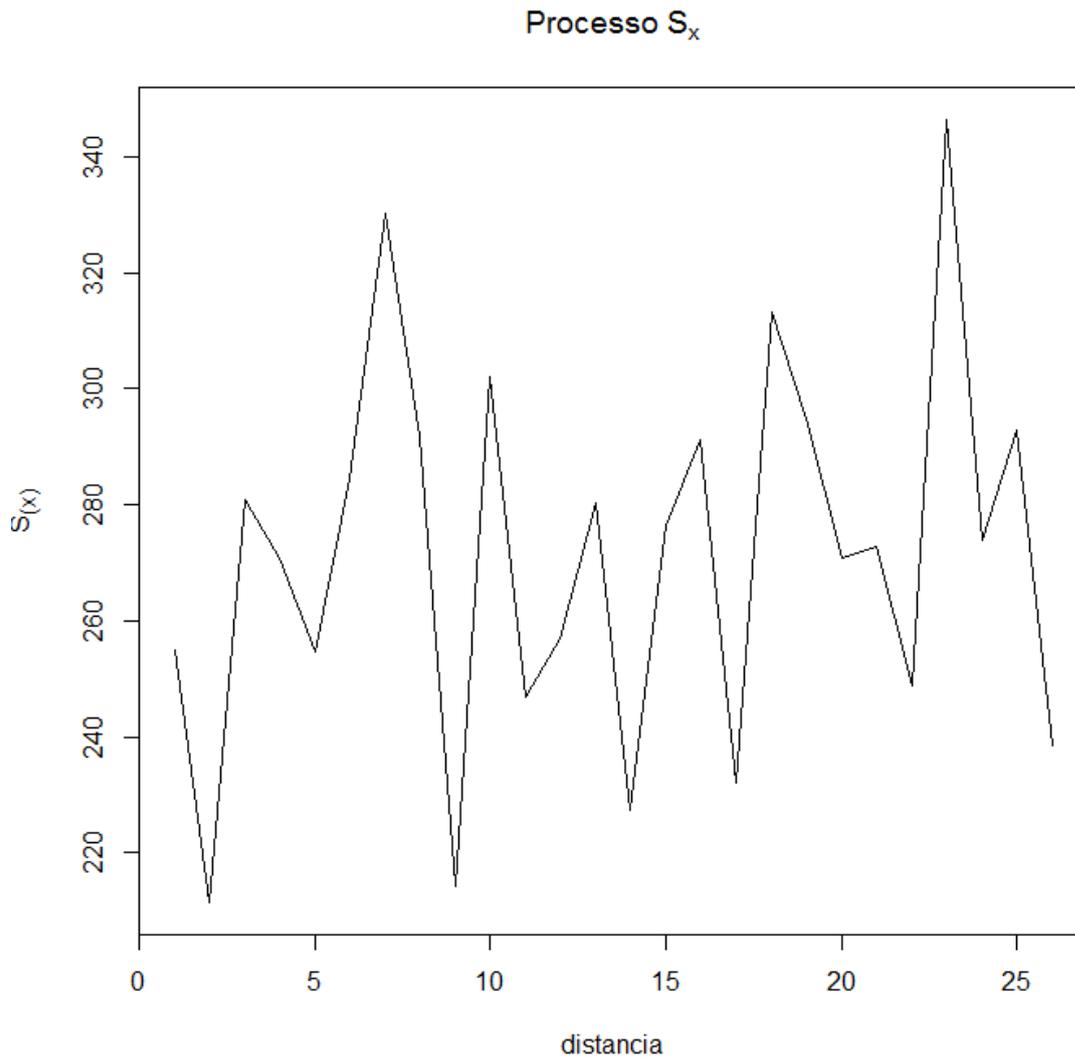


Figura 2 – Visualização do processo S .

Foi utilizado o software R para desenvolver todo procedimento de análise e manipulação dos dados. Em especial para as bibliotecas *geoR* e *sp*.

3. Resultados e Discussões

A seguir são apresentadas visualizações gráficas para definição de necessidade de transformação de variáveis por *boxcox* bem como avaliação do padrão espacial da variável que avalia a sua distribuição e verifica sua normalidade pelo teste de Shapiro Wilk.

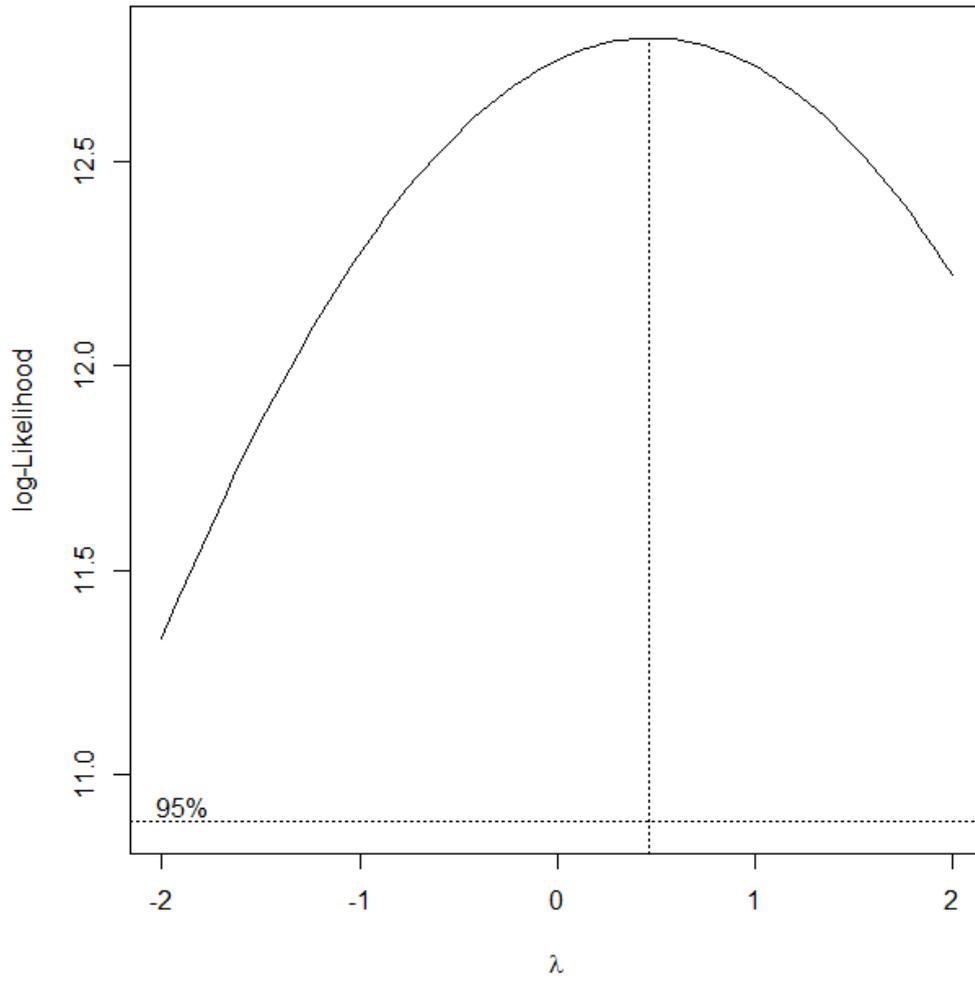


Figura 3 – Gráfico de *BoxCox*.

É sugerido um valor de lambda igual a 0,5 para a variável em estudo.

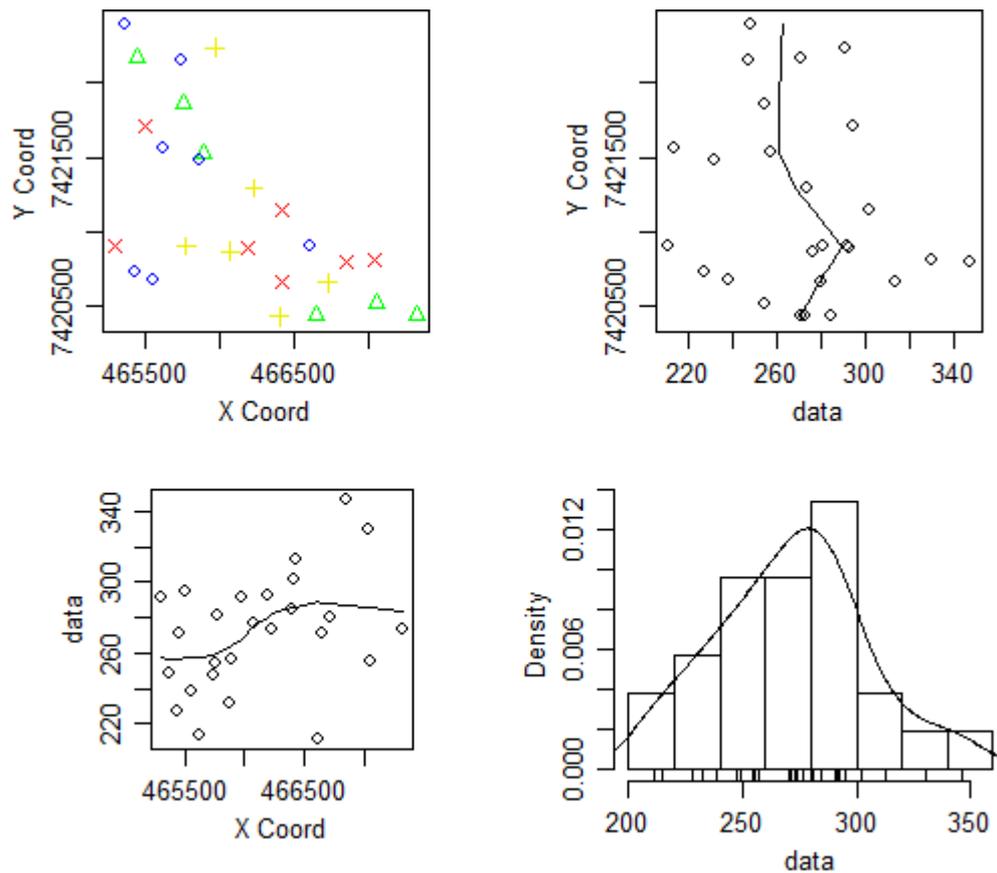


Figura 4 – Resumo gráfico do comportamento da variável na área de estudo.

Os resultados do teste de Shapiro (Wilk) se assemelham a figura acima e comprovam a normalidade da variável em nível de 5% de significância, retornando o valor $W = 0,9824$ e $p\text{-valor} = 0,9205$, o que implica que deve-se aceitar a hipótese inicial da normalidade dos dados.

A tabela 2 retrata informações dos parâmetros dos três cenários propostos em que foi considerado em primeiro instante uma krigagem convencional assumindo que $S(x)$ é um processo gaussiano, estacionário, isotrópico de média constante. Em um segundo instante foi assumido as variações e simulações de ϕ por técnicas bayesianas definindo γ discretizada como priori deste parâmetro. Em um último instante variou-se os parâmetros ϕ e tal relativo que manteve γ discretizada para ϕ e distribuição recíproca para tal relativo (Figura 5,6).

Tabela 2 – Parâmetros para os três cenários avaliados.

Cenários	Parâmetros ajustados						
	β	σ^2	τ^2	$\sigma^2 + \tau^2$	θ (m)	lambda	D.E
1	67,994	32,08	0	32,0784	87,5738	0,6907	0
2	30,93	4,873	0	4,8731	148,7698	---	0
3	30,919	2,765	0,9481	3,7134	177,2451	---	0,26

Cambardella et al (1994) sugeriu o índice que calcula o grau de dependência espacial (D.E). Segundo o autor, valores inferiores a 25 são considerados como de alta correlação espacial conforme é possível verificar na Tabela 2.

As figuras 5 e 6 têm por objetivo mostrar o comportamento da priori e posteriori dos cenários 2 e 3 respectivamente. Foi possível a verificação da definição de uma boa priori ou ainda que toda variação seja aclarada pela verossimilhança.

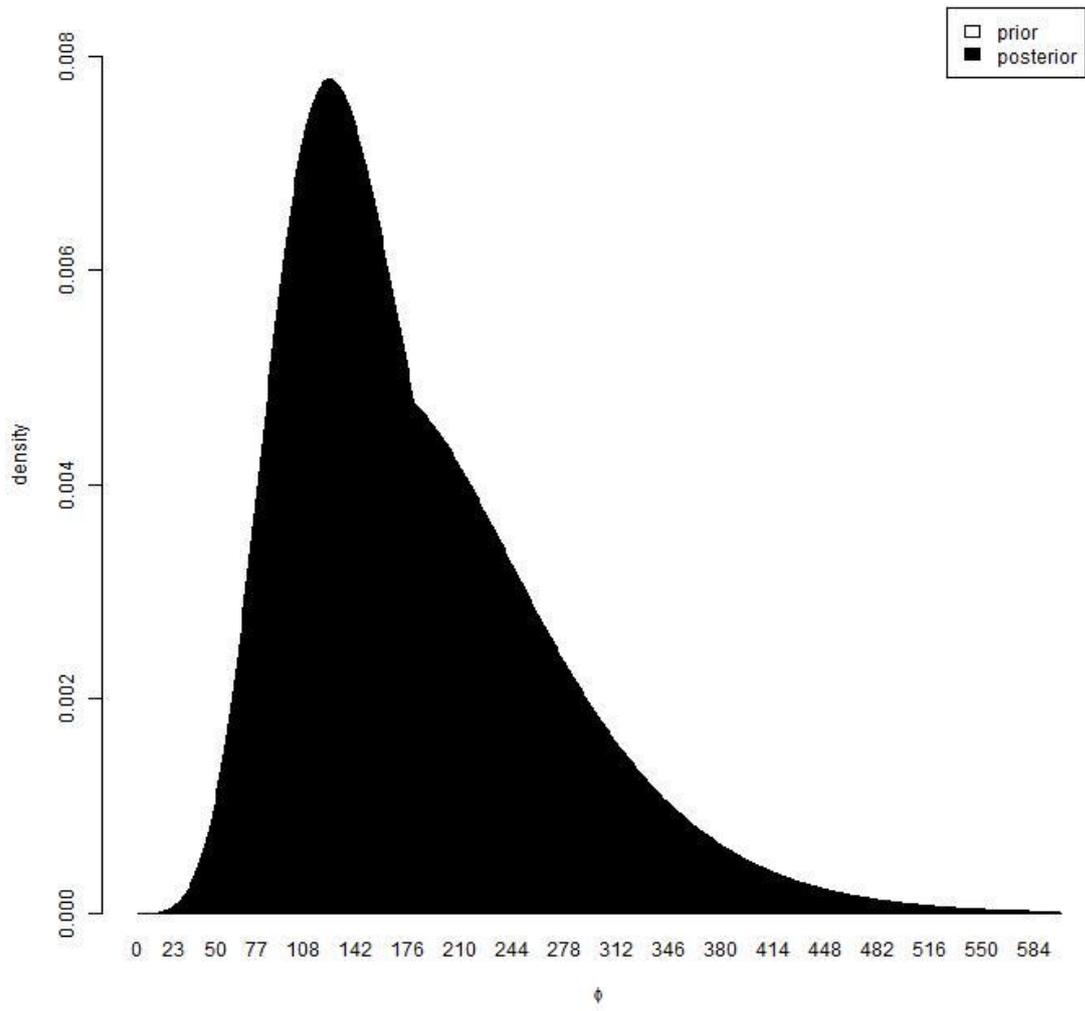


Figura 5 – Priors e posteriores para phi e tal relativo fixo.

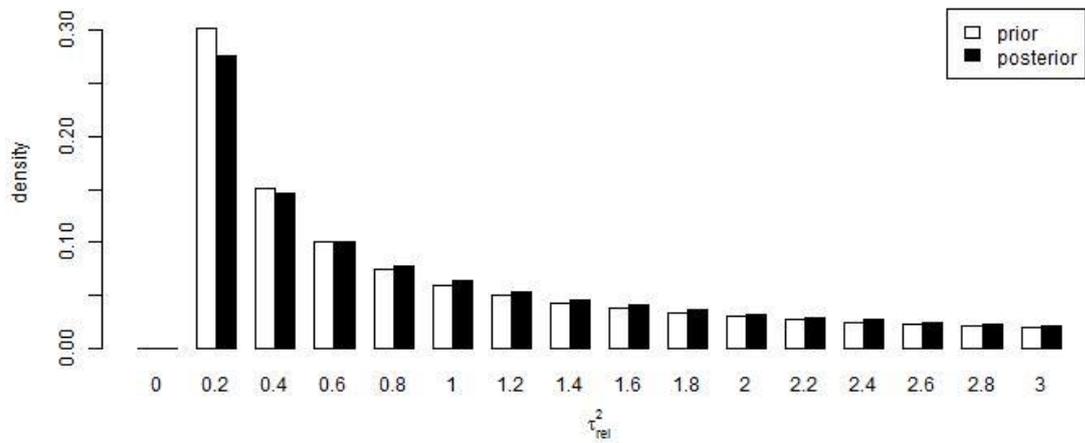
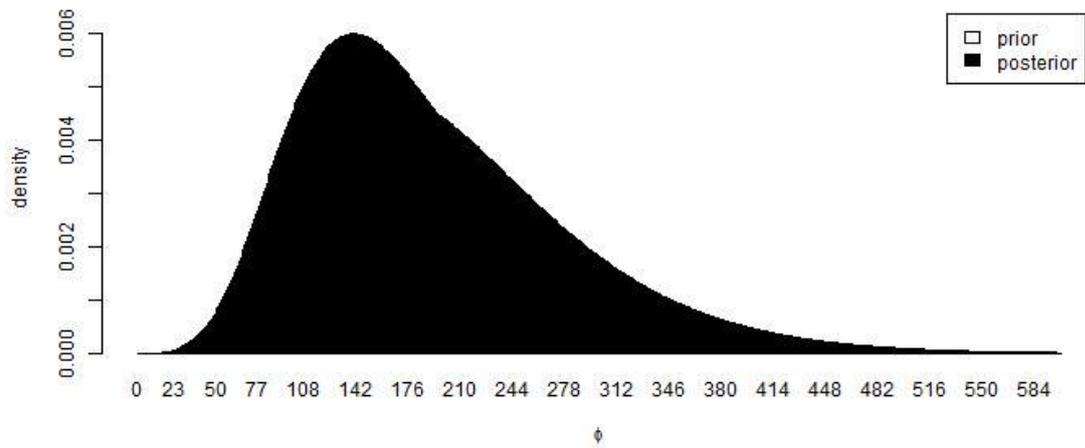
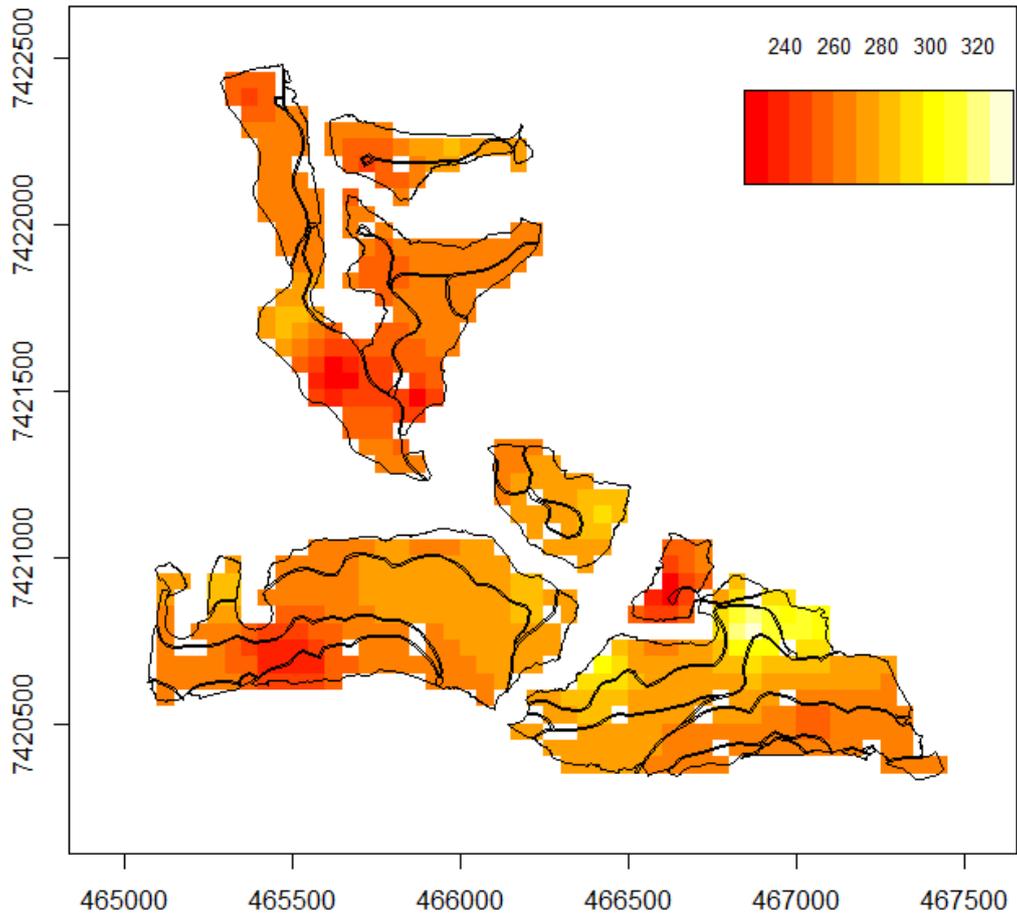


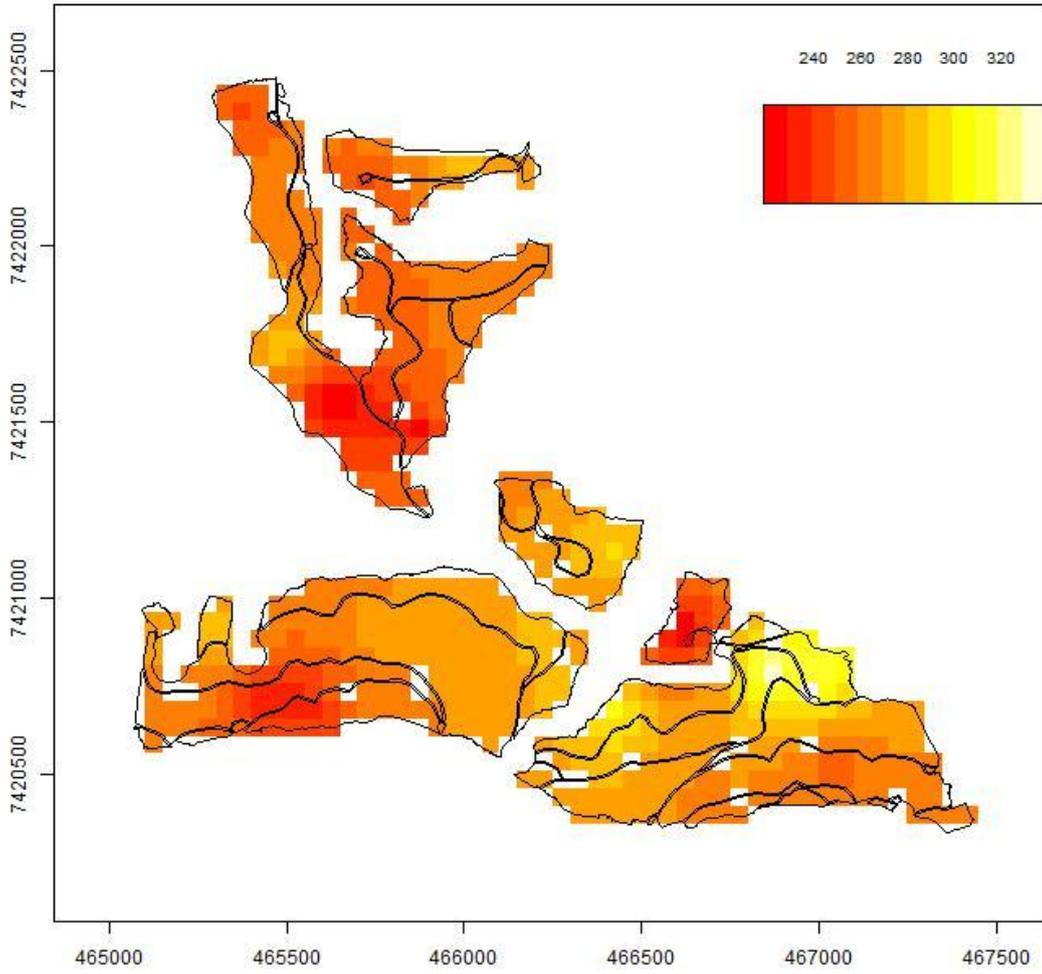
Figura 6 – Priori e posteriores para phi e tal relativo respectivamente

A partir deste ponto são gerados os mapas de krigagem para fins de comparação de predição. A figura 7 refere-se respectivamente a krigagem ordinária convencional, por bayesiana definindo gamma como priori de phi e tal relativo fixo, e por fim bayesiana definindo gamma como priori de phi e recíproca como priori do tal relativo.

Análise Geoestatística Canônica



Análise Bayesiana
Definida gamma como priori do phi



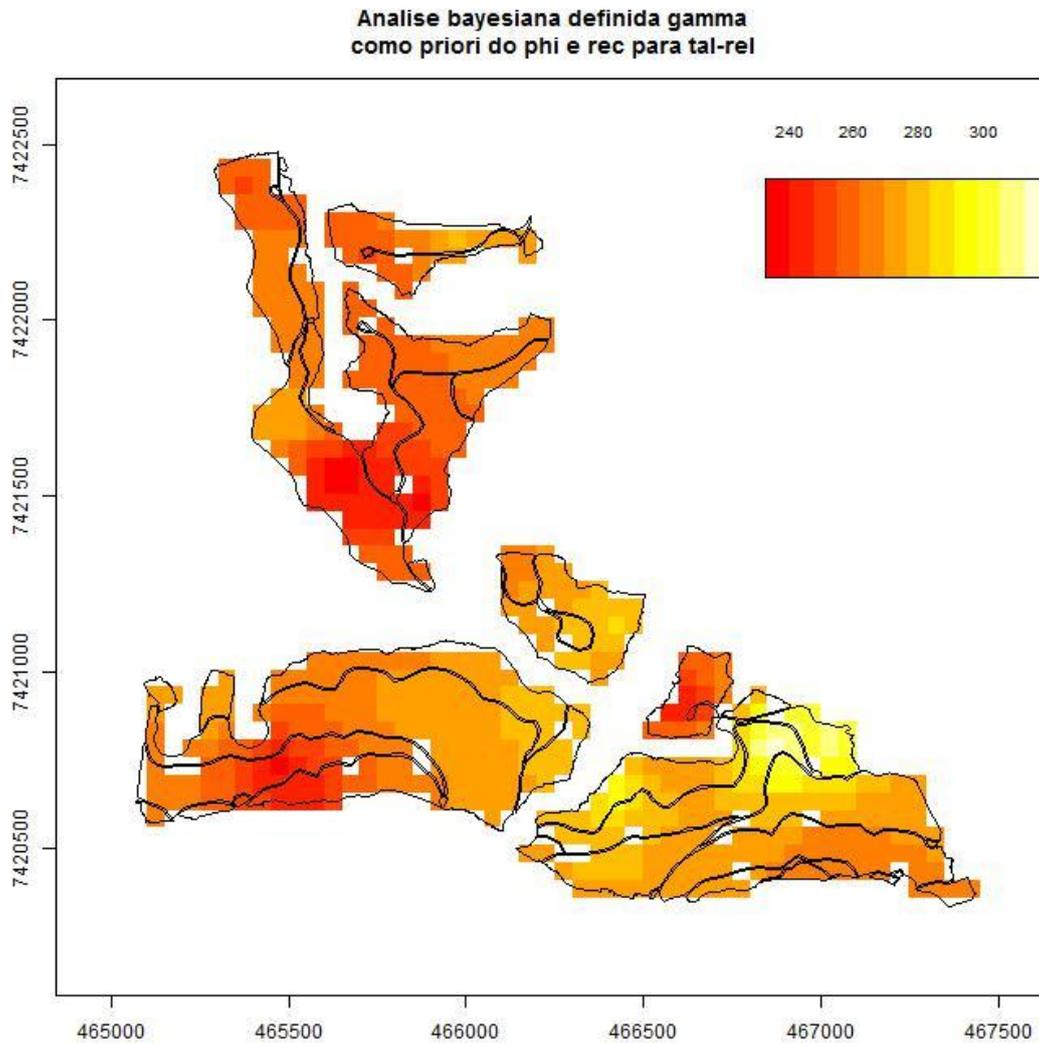


Figura 7 – Mapas de predição. (é mesmo uma única legenda para 3 figuras?)

Detectou-se que não foi possível notar diferenças altamente discrepantes para os cenários avaliados. Porém as análises bayesianas tendem a suavizar a superfície com as estimativas mais próximas à média.

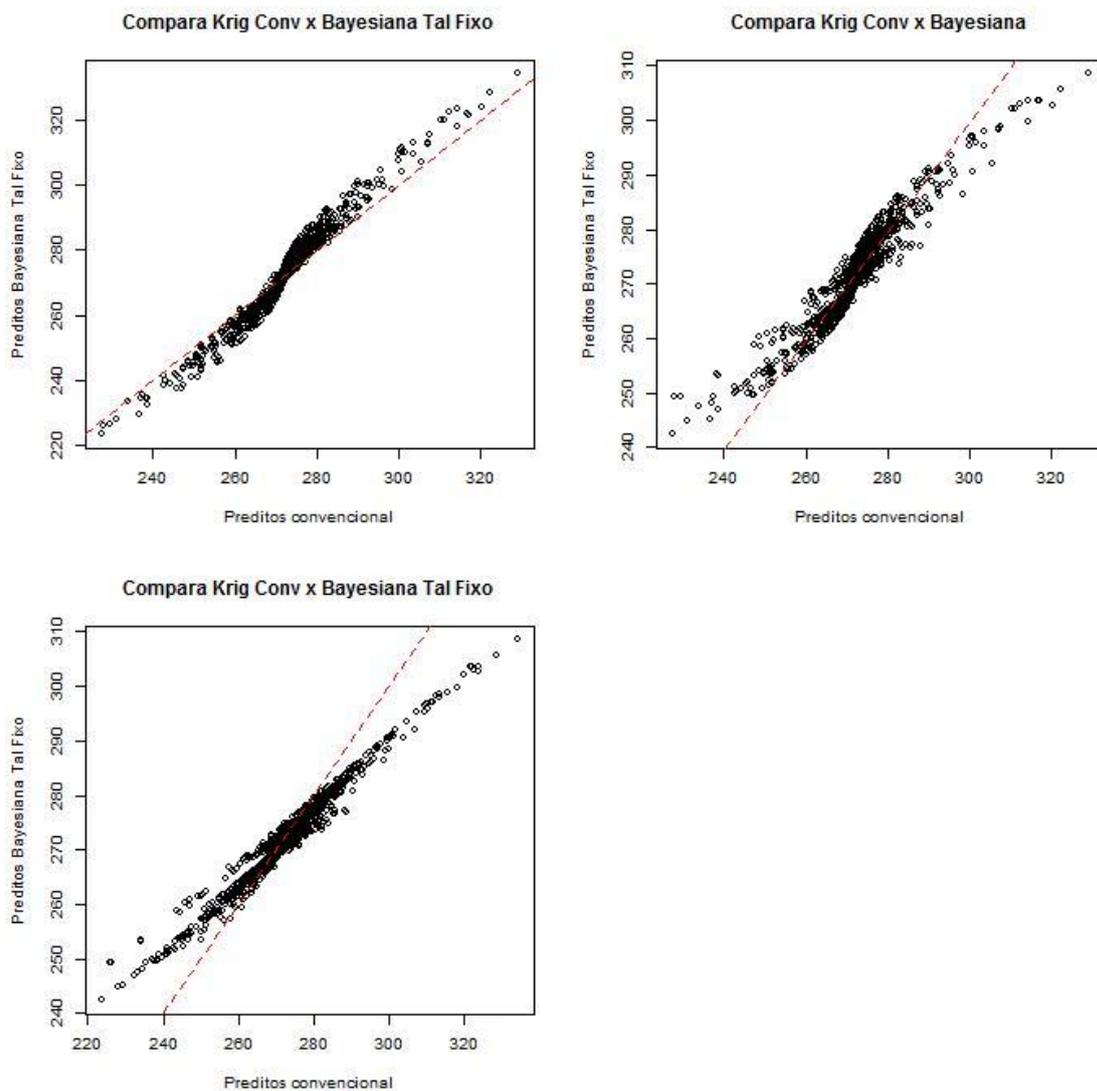


Figura 8 – Comparação dos valores preditos combinando os cenários propostos.

Os resultados mostraram que há uma oscilação nos valores preditos quando conflitadas as diferentes estratégias de análise.

4. Conclusões e considerações

A krigagem por técnicas bayesianas mostraram como alternativa interessante para gerar mapas de predição do volume de madeira.

Os mapas de predição não apresentam diferenças significativas para os diferentes cenários propostos.

Os valores preditos para os diferentes cenários sofreram uma flutuação significativa.

5. Referências bibliográficas

ASSIS, A. L. de.. Definição da estratégia amostral em plantios de *Eucalyptus* pelo uso da geoestatística. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, p.1501-11, 1994.

COUTO, H. T. Z. do; VETTORAZZO, S. S. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 69-80, 1999.

DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JR, P.J. **Model-based Geostatistics**. New York: Springer, 230p. 2007.

GUEDES, I. C. L.. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus* sp. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **R. Árvore**, Viçosa, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

MACEDO, R. C. **Estimativa volumétrica de povoamento clonal de *Eucalyptus* sp através de laserscanner aerotransportado**. 2009. 145p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2009.

Mello, J. M. de. et al. Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Floresta**. Curitiba, PR. v.36, n.2, 2006

Mello, J. M. de.. Geoestatística aplicada ao inventário florestal. 122p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo campus Piracicaba, Piracicaba, 2004.

ODA, M. L.. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um experimento em delineamento sistemático tipo “Leque”. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Universidade de São Paulo campus Piracicaba, Piracicaba, 2005.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Os autores, 1997. 316p.

RIBEIRO JR, P.J.; DIGGLE, P. J. **geoR: A package for geostatistical analysis**. *R-NEWS*, v. 01, n. 2, ISSN 1609-3631, 2001.

ZONETE, M. C. C.. Avaliação do uso de técnicas de interpolação para estimativa de volume em florestas clonais de *Eucalyptus* sp.