

MODELAGEM ESPACIAL PARA A ESTIMATIVA DE SILTE VIA KRIGAGEM ORDINÁRIA

Pedro Bouças Paes ¹; Natália Risso Fonseca ²; Ivan da Costa Ilhéu Fontan ³; Bruno Oliveira Lafetá ⁴

¹ Pedro Bouças Paes, Bolsista IFMG, Curso Técnico em Agrimensura, IFMG, São João Evangelista - MG; pedro.boucaz@gmail.com

² Coorientadora: Natália Risso Fonseca, Campus São João Evangelista; natalia.fonseca@ifmg.edu.br

³ Coorientador: Ivan da Costa Ilhéu Fontan, Campus São João Evangelista; ivan.fontan@ifmg.edu.br

⁴ Orientador: Bruno Oliveira Lafetá, Campus São João Evangelista; bruno.lafeta@ifmg.edu.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho do método de krigagem ordinária para a estimativa de silte de uma área de Latossolo Vermelho Amarelo. O estudo foi conduzido em uma área de 41,07 no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, campus São João Evangelista. Estabeleceu-se uma grade amostral regular de 130 x 130 m, totalizando 33 pontos amostrais georreferenciados. Cada ponto amostral foi constituído por uma amostra composta de solo, formada pela mistura homogênea de cinco simples. A distribuição das amostras simples seguiu o padrão de uma cruz de Malta, com coleta de solo no centro e, seguindo orientação de pontos cardeais, em raios de 1m. A coleta de solo foi realizada na profundidade de 0 a 20 cm. A análise de interpolação espacial adotou o método de krigagem ordinária, sendo testados dois modelos de semivariograma teórico (esférico e exponencial). Aplicaram-se a transformação logarítmica aos dados e correção de anisotropia. A técnica de validação cruzada leave-one-out foi utilizada para definir o melhor modelo de semivariograma teórico para a krigagem ordinária. As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R e ESRI ArcMap. Para a fração silte, o alcance, que representa a distância na qual há dependência espacial entre amostras, variou de 432,16 (esférico) a 736,90m (exponencial). As estimativas mais precisas da fração silte foram obtidas com a adoção do modelo esférico, com menores desvios. Indica-se que a amostragem aleatória de solos para fins texturais seja realizada considerando a distância de pelo menos 432,16m (alcance) entre pontos para a coleta de amostras compostas. Conclui-se que o método de krigagem ordinária associado ao modelo de semivariograma esférico é eficiente para análises de interpolação espacial da fração de silte em Latossolo Vermelho- Amarelo. Para fins texturais relacionados ao silte, estimou-se o tamanho ideal de glebas circulares de 14,67ha para a obtenção de amostras compostas de solo.

INTRODUÇÃO:

A avaliação da fertilidade deve contemplar atributos físicos e químicos solo para melhor definição de práticas de preparo do solo, balanço e racionalização da aplicação de corretivos e fertilizantes. A primeira e principal etapa dessa avaliação é a amostragem, que consiste na coleta de amostras do solo. Tem-se disponíveis literaturas clássicas generalistas para a distribuição de pontos de coleta de solo para fins químicos analíticos, como a divisão em glebas nunca maiores que 10 (CANTARUTTI et al., 1999) ou 20 ha (IAC, 2018), porém são raros os registros sobre a dependência espacial e amostragem para fins texturais de solo.

O conhecimento da variabilidade das propriedades físicas de solo no espaço é um dos princípios básicos para o manejo de precisão de áreas agrícolas e florestais. A partir do conhecimento das coordenadas geográficas dos pontos amostrais e análises de interpolação espacial é possível a representação detalhada de áreas de cultivo. Todavia, ainda, as informações sobre a variabilidade textural de solo não estão completamente elucidadas. A falta de pesquisas sobre tal variabilidade pode ser justificada devido a laboriosidade da coleta de amostras de solo, limitações técnicas para avaliações geoestatísticas ou custos envolvidos com a amostragem, envio, análise laboratorial e interpretação de resultados.

A geoestatística probabilística fornece dados quantitativos de variabilidade espacial e/ou temporal, dependência espacial e mapas temáticos. Esta representação espacial através de mapas facilita a visualização de agricultores e sua compreensão sobre a distribuição de atributos físicos na propriedade (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ et al., 2020). O mapeamento é convencionalmente elaborado a partir do georreferenciamento de pontos amostrais no campo, com sistemas de informação geográfica, e podem, inclusive, ser utilizado no desenvolvimento e aplicação de modelos hidrológicos, agrícolas e ecológicos (LI et al., 2020).

Mediante exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho do método de krigagem ordinária para a estimativa de silte de uma área de Latossolo Vermelho Amarelo.

METODOLOGIA:

O trabalho foi conduzido no município de São João Evangelista – MG, em área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. O clima da região é classificado como Cwa pelo sistema internacional de Köppen. As médias anuais de temperatura e precipitação são de 20,2º C e 1.377 mm, respectivamente (INMET, 2020).

A área de estudo possui 41,07 ha e se encontra em uso para diversas atividades pecuárias e cultivos agrícolas. O tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo, com relevo plano a suave ondulado e altitude de 690 m.

Estabeleceu-se uma grade amostral regular de 130 x 130 m, totalizando 33 pontos amostrais georreferenciados. Cada ponto amostral foi constituído por uma amostra composta de solo, formada pela mistura homogênea de cinco simples. A distribuição das amostras simples seguiu o padrão de uma cruz de Malta, com coleta de solo no centro e, seguindo orientação de pontos cardeais, em raios de 1m. A coleta de solo foi realizada na profundidade de 0 a 20 cm.

As amostras compostas de solo foram acondicionadas em embalagens plásticas devidamente identificadas e encaminhadas para a análise textural de silte conforme Embrapa (1997).

De modo exploratório, os dados foram submetidos à estatística descritiva (média, mínimo, máximo, desvio padrão e, pelo método dos momentos, assimetria e curtose), teste de normalidade por Shapiro Wilk e análises gráficas de tendência a partir da dispersão entre os valores texturais e o plano cartesiano. Ajustaram-se modelos lineares polinomiais de primeiro e segundo grau pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para a análise de tendências dos dados texturais em função de eixos cartesianos. A identificação de tendências se fundamentou na significância de parâmetros da modelagem.

A análise de interpolação espacial adotou o método de krigagem ordinária, sendo testados dois modelos matemáticos de semivariograma teórico (esférico e exponencial); 12 lags de 130m cada. Para cada modelo de semivariograma teórico, os seguintes parâmetros foram calculados e representados graficamente: efeito pepita (C0), contribuição (C1), patamar (C0 + C1) e alcance. O Índice de Dependência Espacial (IDE) foi calculado pela expressão razão entre a contribuição e o patamar. O IDE foi classificado segundo critério usado por Lundgren et al. (2016), que considera a dependência espacial fraca quando IDE é menor que 0,25; moderada quando está entre 0,25 e 0,75 e forte, quando é maior que 0,75.

A existência de anisotropia foi investigada a partir da construção de semivariogramas nas direções 0, 45, 90 e 135º e análise do comportamento espacial. A correção da anisotropia foi realizada para a interpolação dos dados texturais.

A técnica de validação cruzada leave-one-out foi utilizada para definir o melhor modelo de semivariograma teórico para a krigagem ordinária. A qualidade preditiva contemplou as estatísticas de Média dos Desvios Absolutos (MDA), Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e teste *t* pareado. Menores valores de MDA e RQEM implicam em maior qualidade preditiva. Selecionou-se um modelo de semivariograma a elaboração do mapa de interpolação.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018) e ESRI ArcMap 10.3.1, ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

A fração silte apresentou alta variabilidade (coeficiente de variação de 61,17%), com forte assimetria positiva e curtose – distribuição leptocúrtica (Tabela 1). A normalidade pelo teste de Shapiro Wilk não foi constatada para a fração silte ($p \leq 0,05$). Aplicou-se a transformação logarítmica aos dados para as análises subsequentes.

Tabela 1. Estatística descritiva da fração silte em área de Latossolo Vermelho, no município de São João Evangelista-MG, Brasil

Atributos	Silte
Média (%)	11,90
Mínimo (%)	4,86
Máximo (%)	35,84
Desvio padrão (%)	7,2810
Assimetria	1,5600
Curtose	2,2501
Shapiro-Wilk (<i>p</i>)	< 0,0001

Os parâmetros dos modelos polinomiais ajustados para a estimativa textural não foram significativos ($p > 0,05$), evidenciando a ausência de tendências de primeiro e segundo grau. Além disso, não foram observadas tendências lineares ou não lineares nos dados texturais em relação ao plano cartesiano, que se distribuíram homogeneamente ao longo dos eixos das coordenadas (Figura 1). Portanto, não existiu nenhum tipo de enviesamento ou tendenciosidade direcionada.

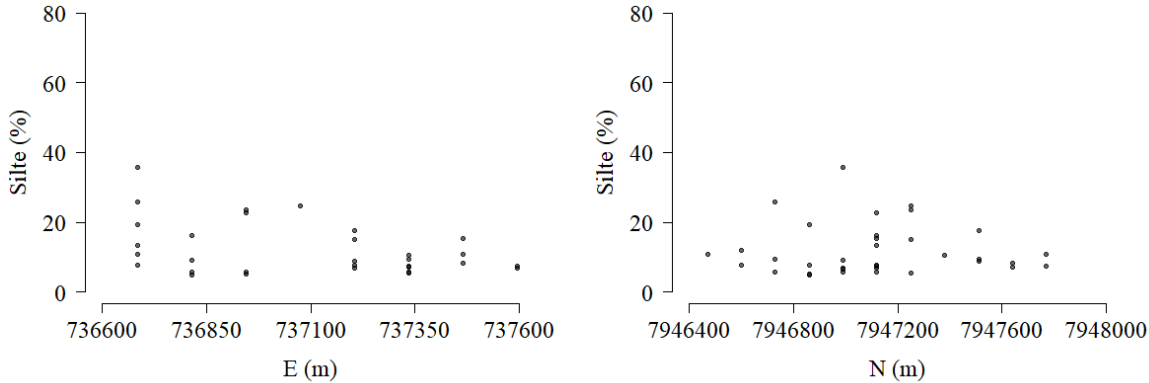


Figura 1. Dispersão espacial de silte em área de Latossolo Vermelho, no município de São João Evangelista-MG, Brasil.

Os valores dos parâmetros dos semivariograma estão apresentados na Tabela 2. Para a fração silte, o alcance, que representa a distância na qual há dependência espacial entre amostras, variou de 432,16 (esférico) a 736,90m (exponencial). Os modelos esférico e exponencial apresentaram dependência espacial moderada e fraca, respectivamente (Figura 2).

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados de semivariograma teórico para aspectos texturais em área de Latossolo Vermelho, no município de São João Evangelista-MG, Brasil

Modelo	Efeito pepita	Contribuição	Patamar	Alcance (m)	IDE
----- Silte -----					
Esférico	0,19	0,10	0,29	432,16	0,3517
Exponencial	0,24	0,04	0,29	736,90	0,1547

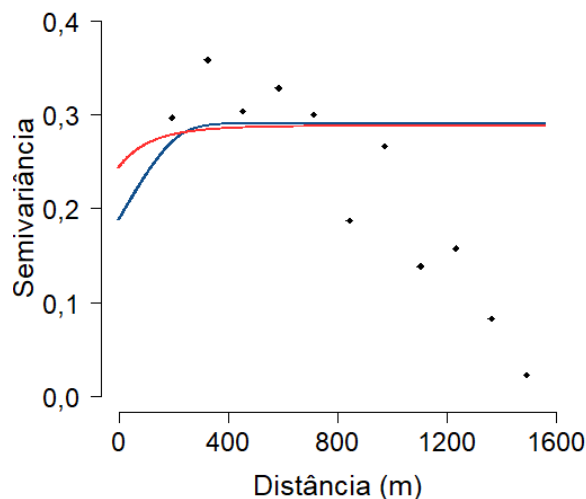


Figura 2. Semivariogramas omnidirecional ajustados a partir dos modelos Esférico e Exponencial para a fração silte em área de Latossolo Vermelho, no município de São João Evangelista-MG, Brasil. Azul = Esférico e; vermelho = Exponencial.

O desempenho preditivo oscilou entre os modelos de semivariograma teórico (Tabela 3). No que se refere à validação cruzada, as estimativas mais precisas da fração silte foram obtidas com a adoção do modelo esférico. Logo, selecionou-se este modelo de semivariograma para a elaboração do mapa de interpolação subsequente (Figura 3).

Tabela 3. Estatísticas de qualidade do desempenho preditivo do método de krigagem ordinária com ajuste de diferentes modelos de semivariograma teórico em área de Latossolo Vermelho, no município de São João Evangelista-MG, Brasil

Krigagem	Modelo	MDA	RQEM	Teste t (p)
----- Silte -----				
Ordinária	Esférico	4,9578	6,6168	0,9173
Ordinária	Exponencial	5,5597	7,1701	0,9555

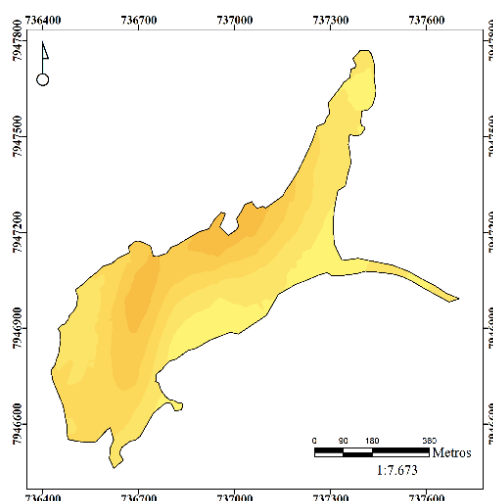


Figura 3. Interpolação relacionada ao método krigagem ordinária, com ajuste do modelo de semivariograma esférico, para fração silte em área de Latossolo Vermelho, no município de São João Evangelista-MG, Brasil.

Indica-se que a amostragem aleatória de solos para fins texturais seja realizada considerando a distância de pelo menos 432,16m (alcance) entre pontos para a coleta de amostras compostas. Esta afirmação se pautou na premissa de que a amostragem aleatória não é apropriada diante da dependência espacial de atributos do solo (GUARÇONI et al., 2017). Tal valor de distância equivale à uma gleba circular de, aproximadamente, 14,67ha (uma amostra composta de solo a cada 14,67ha – proporção 1:15). Tal resultado possui grande relevância prática, pois favorece o planejamento da caracterização do silte de solos para implantações agrícolas e florestais. Além disso, está coerente com o preconizado em literaturas clássicas generalistas para a distribuição de pontos de coleta de solo para fins químicos analíticos, como a divisão em glebas nunca maiores que 10 (CANTARUTTI et al., 1999) ou 20 ha (IAC, 2018).

CONCLUSÕES:

O método de krigagem ordinária associado ao modelo de semivariograma esférico é eficiente para análises de interpolação espacial da fração de silte em Latossolo Vermelho- Amarelo.

Para fins texturais relacionados ao silte, estimou-se o tamanho ideal de glebas circulares de 14,67ha para a obtenção de amostras compostas de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Amostragem do solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 13-20.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, M. G.; GÓMEZ-SANCHIS, J.; BLASCO, J.; SORIA-OLIVAS, E.; CHUECA, P. Citrus yield: a dashboard for mapping yield and fruit quality of citrus in precision agriculture. **Agronomy**, v. 10, n. 128, p. 1–13, 2020.
- GUARÇONI, A.; ALVAREZ, V. H.; SOBREIRA, F. M. Fundamentação teórica dos sistemas de amostragem de solo de acordo com a variabilidade de características químicas. **Terra Latinoamericana**, v. 35, n. 4, 2017.

IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Análise do solo, plantas, substratos resíduos e fertilizantes**. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/>> Acesso em: 15 de mar. 2020.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 15 mar. 2020.

LI, J.; WAN, H.; SHANG, S. Comparison of interpolation methods for mapping layered soil particle-size fractions and texture in an arid oasis. **Catena**, v. 190, p. 1-15, 2020.

LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Influência do tipo de amostragem na estimativa de volume de madeira de eucalipto por krigagem. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 511-523, 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.