

## MODELAGEM DA ESTRUTURA DE VARIAÇÃO ESPACIAL DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO A PARTIR DE DADOS RADIOMÉTRICOS

GEAN NASCIMENTO ROCHA<sup>1</sup>; FRANCISCO MAZZAROLO SEGER<sup>2</sup>;  
ROBERTO MATTES HORN<sup>3</sup>; JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÉ<sup>4</sup>; WILLIAN S.  
BARROS<sup>5</sup>; ROGÉRIO COSTA CAMPOS<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Discente UFPel/Engenharia Agrícola – gean.r91@gmail.com

<sup>2</sup>Discente UFPel/Agronomia – franciscoseger@hotmail.com

<sup>3</sup>Discente UFPel/Agronomia – robertomhorn@gmail.com

<sup>4</sup>Doscente ESALQ/USP Departamento de Ciência do Solo – jamdemat@usp.br

<sup>5</sup>Docente UFPel/Departamento de Matemática e Estatística – wsbarros@hotmail.com

<sup>6</sup>Docente UFPel/Departamento de Matemática e Estatística – rogerio.c.campos@hotmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

A quantidade de matéria orgânica (MO) influencia propriedades físico-químicas do solo e exerce influência sobre a disponibilidade de nutrientes e a capacidade de armazenamento de água pelo solo (BRADY & WEIL, 2008). A variabilidade espacial da MO no solo precisa então ser conhecida para que o sistema de produção possa ser manejado com precisão. A ausência de informação sobre o delineamento experimental (taxa e distribuição das amostras na área) para a estimativa da variabilidade espacial da matéria orgânica, bem como a posterior necessidade de analisar físico-quimicamente as amostras, dificultam a adoção do manejo de precisão desse atributo.

Dados espectrais no comprimento de onda do visível (400 – 780 nm) e no infravermelho (780 – 2500 nm) são uma alternativa para o estudo quantitativo das propriedades físico-químicas do solo (DEMATTÉ et al., 2004; NANNI et al., 2004). Este método dispensa a utilização de reagentes químicos e a destruição de amostras (ARAÚJO et al., 2014), além de ser destacado por GOGÉ et al., (2013) como rápido e barato. Segundo STENBERG et al. (2010), propriedades como teor de argila de MO podem ser determinadas a partir de dados espectrais.

Além da possibilidade de estimativa direta da quantidade de MO na amostra, as variáveis espectrais do solo podem ser utilizadas na fase exploratória da modelagem da estrutura espacial da MO. Para isso, a relação entre as estruturas de variação espacial precisam ser entendidas.

Métodos geoestatísticos, como krigagem e co-krigagem podem ser utilizados para comparar parâmetros de modelos espaciais gerados para uma finalidade em comum. No caso desse estudo, a finalidade foi utilizar modelos exponenciais para comparar a estrutura de variação espacial da MO, com a estrutura espacial de uma variável espectral, selecionada com base na força da associação global com a MO.

### 2. METODOLOGIA

A área de estudo (Figura 01; NANNI, 2004) tem 184 hectares e está localizada no município de Rafard, sudoeste do estado de São Paulo. Foram coletadas 184 amostras de solo na profundidade de 0-20 cm em um grid regular georeferenciado de 100x100m. Análises físico-químicas (CAMARGO et al., 1986) foram realizadas para determinação dos teores de MO das amostras coletadas. O Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) (NICODEMUS et al., 1977) das amostras foi determinado a partir de medidas de radiância obtidas em laboratório com o

sensor IRIS – Infra-Red Intelligent Spectroradiometer entre 400 e 2500nm. O FRB foi determinado pela razão entre a radiância da amostra e a radiância lambertiana de uma placa de sulfato de bário.



Figura 01 – Área de estudo e locais de amostragem.

Foram realizadas análises estatísticas para selecionar a variável espectral com maior força de associação com a MO. A variável espectral selecionada foi utilizada em uma análise exploratória sobre previsibilidade do delineamento espacial para o atributo MO. Modelos geostatísticos exponenciais foram empregados para a comparação das estruturas de autocorrelação espacial. O pacote geoestatístico gstat (PEBESMA, 2004) foi utilizado para o ajuste de semivariogramas experimentais (Equação 01) e de modelos teóricos (Equação 02) para a MO e dados espectrais.

Na equação 01  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos  $z(x_i)$  e  $z(x_i + h)$ , separados pela distância  $h$ .

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (01)$$

$$\hat{\gamma}(h) = \begin{cases} 0, & h = 0 \\ 1 - e^{(-h/a)}, & h \neq 0 \end{cases} \quad (02)$$

A equação 02 representa o modelo teórico exponencial, onde  $h$  é a distância entre os pontos e  $a$  é à distância de alcance máximo de semivariância. As estimativas da MO foram realizadas com um modelo RK (Regression Kriging) para a krigagem do resíduo e posterior adição da tendência. Duas estimativas foram realizadas para um grid regular de 50x50m, sendo (i) a estimativa por meio do resíduo da MO para a tendência de variação com base na altitude da coleta; e (ii) a estimativa do resíduo da MO para a tendência de variação com os dados espectrais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A banda espectral 5 (B5) apresentou maiores coeficientes de correlação R e de determinação  $r^2$  entre as variáveis espetrais analisadas (Tabelam01), sendo então selecionada como estimador da variabilidade espacial da MO.

Tabela 01 – Análise exploratória dos dados radiométricos.

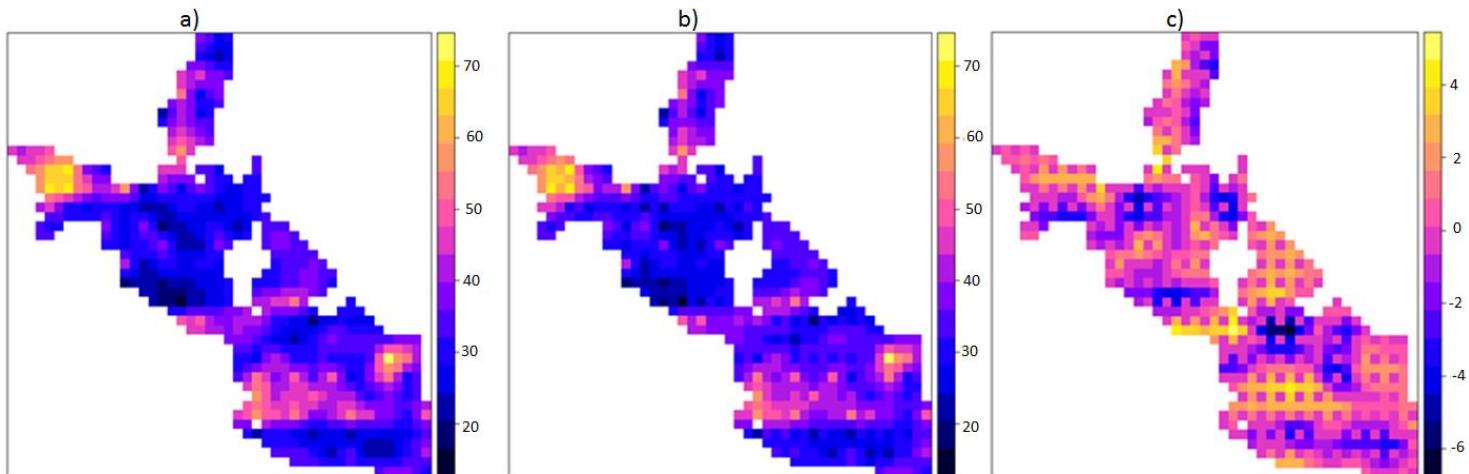
Banda Espectral	R	$r^2$
B4	-0.726	0.527
B5	-0.728	0.53
B6	-0.719	0.517

Os semivariogramas experimentais da MO e B5 apresentaram comportamento bastante similar. Ambos foram ajustados por um modelo teórico exponencial com variância convergindo para zero quando o lag tende a zero (Tabela 2).

Tabela 02 – Estimativa dos parâmetros dos modelos teóricos para a MO e para a banda 5.

Variável	Modelo	Patamar	Alcance (m)	Pepita
MO	Exp	0.0397	91.77	-
B5	Exp	0.0672	107.53	-

A krigagem ordinária da MO e a co-krigagem da banda 5 indicam que a estrutura espacial do atributo MO tem grande similaridade com a estrutura espacial da banda 5 na krigagem para um grid regular de 50m. Consequentemente o modelo da estrutura espacial da banda 5 tem potencial de previsibilidade para a proposição do desenho experimental adequado para a MO.

Figura 02 – Mapas da MO ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) estimada para um grid 50x50m por : a) krigagem ordinária a partir do modelo exponencial ajustado a MO; b) cokrigagem a partir do modelo exponencial ajustado a banda 5. c) Mapa da diferença entre as estimativas da MO ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

#### 4. CONCLUSÕES

É possível verificar que dados radiométricos podem ser úteis para estimar a variabilidade espacial da MO do solo. Porém outras métricas de verificação da relação entre as estruturas espaciais precisam ser empregadas para avaliar a robustez dessa abordagem.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, S. R.; SÖDERSTRÖM, M.; ERIKKISON, J.; ISENDAHL, C.; STENBORG, P.; DEMATTÊ, J. A. M. Determining soil properties in Amazonia Dark Earths by reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v.237-238, p.308-317, 2015.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. Nova Jérsei: Pearson Prentice Hall, 2008. 14v.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. **Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986, 94 p. Boletim Técnico, 106.
- DEMATTÊ, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C.; PETERSON, R. F.; NANNI, M. R. Visible – NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, v.121, p.95-112, 2004.
- GOGÉ, F.; GOMEZ, C.; JOLIVET, C.; RICHARD, J. Which strategy is best to predict soil properties of a local site from a national Vis-NIR database? **Geoderma**, v.213, p.1-9, 2014.
- NANNI, M. R.; DEMMATÊ, J. A. M.; FIORIO, P. R. Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.995-1006, 2004.
- NICODEMUS, F. E.; RICHMOND, J. C.; HSIA, J. J.; GINSBERG, I. W.; LIMPERIS, T. **Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance**. 1977. Monografia No. 160. National Bureau of Standards.
- PEBESMA, E. J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Computers and Geoscience**, v.30, p.638-391, 2004.
- STENBERG, B.; ROSSEL, R. A. V.; MOUAZEN, A. M.; WETTERLIND, J. Visible and Near Infrared Spectroscopy in soil Science. **Advances in Agronomy**, Burlington, v.107, p.163-215, 2010.