

## DESEMPENHO DE MODELOS GEOESTATÍSTICOS ISOTRÓPICOS E ANISOTRÓPICOS NO MAPEAMENTO DO pH DO SOLO EM UNIDADES DE MAPEAMENTO REPRESENTADAS EM DIFERENTES ESCALAS

DIONI GLEI BONINI BITENCOURT<sup>1</sup>; LUANA NUNES CENTENO<sup>2</sup>; EDNALDO CARVALHO GUIMARÃES<sup>2</sup>; LUIZ FERNANDO SPINELLI PINTO<sup>2</sup>; ELOY ANTONIO PAULETTO<sup>2</sup>; LUÍS CARLOS TIMM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – luananunescenteno@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Pampa – dioniglei@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia – ecg@ufu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – lfspin@uol.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – pauletto\_sul@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – lctimm@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

O manejo do solo nas lavouras de arroz do Sul do Brasil é, em geral, baseado em recomendações convencionais e uniformes para toda a área, não levando em consideração a variabilidade dos atributos do solo. Isto pode resultar na aplicação inadequada de certo insumo agrícola em áreas com diferentes níveis de fertilidade, afetando assim a rentabilidade da atividade orizícola.

As ferramentas geoestatísticas podem identificar a estrutura de dependência espacial dos atributos do solo, levando em consideração uma condição isotrópica ou anisotrópica em um domínio espacial. Um fenômeno anisotrópico pode ser classificado como anisotropia geométrica, zonal ou combinada, baseado em semivariogramas direcionais que indicam variação no alcance, patamar ou ambos, respectivamente (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

A anisotropia irá influenciar na forma da janela de estimação usada no processo de interpolação, atribuindo um maior peso a pontos localizados mais próximos a direção de maior continuidade espacial, afetando a variância da krigagem (GUAN et al., 2004; GUEDES et al., 2013).

A escala das unidades de mapeamento de solo pode afetar a identificação da estrutura de dependência espacial de um atributo do solo, pois, normalmente, encontram-se inclusões ou variações de solos em uma mesma unidade de mapeamento. (ROGOWSKI; WOLF, 1994; SALEHI et al., 2003; LIN et al., 2005).

O objetivo deste estudo foi avaliar a acurácia e eficiência relativa de modelos geoestatísticos isotrópicos e anisotrópicos na krigagem do pH do solo em unidades de mapeamento em diferentes escalas.

### 2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma área de 403 ha, pertencente a uma unidade de mapeamento denominada “Formiga”, de acordo com o levantamento de reconhecimento do estado do Rio Grande do Sul. A coordenada geográfica do ponto central da área é 32°32’45”S e 53°05’45”W, o relevo é plano, com altitude variando de 5 a 7 m acima do nível do mar.

Nessa área foram classificados três perfis modais com base na *World Reference Base classification* (WRB, 2014), denominados Mollic Gleysol (GL-mo), Luvic Mollic Gleysol (GL-mo.lv), e Luvic Gleysol (GL-lv) que deram origem as unidades de mapeamento em escala de semidetalhe. Uma malha experimental de 403 pontos, espaçados de 100 m, foi estabelecida na área. Em cada ponto da malha, amostras deformadas foram coletadas para determinar o pH do solo na camada de 0-0,20 m de profundidade.

O conjunto de dados foi submetido a uma análise exploratória através da estatística descritiva e ao teste de *Kolmogorov-Smirnov* (MASSEY, 1951) para analisar a normalidade do pH do solo. Foi realizada uma análise semivariográfica direcional para identificar o tipo de anisotropia (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Modelos geoestatísticos anisotrópicos e isotrópicos foram construídos para o pH do solo na unidade de mapeamento em escala de reconhecimento e nas unidades de mapeamento em escala de semidetalhe.

A interpolação em locais não amostrados por meio de krigagem ordinária foi utilizada para se calcular a acurácia (erro médio absoluto) e a eficiência (erro quadrado médio), Equações 1 e 2 respectivamente. Assim para examinar o desempenho dos modelos geoestatísticos isotrópicos e anisotrópicos no mapeamento do pH do solo, foram determinados a acurácia e eficiência relativa, Equações 3 e 4 respectivamente.

$$M_{abs} = \frac{\sum [Z^*(x_i) - Z(x_i)]}{n} \quad (\text{Eq. 1}) \quad MSE = \frac{1}{n} \sum [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$RA = \frac{M_{abs_{iso}}}{M_{abs_{aniso}}} \quad (\text{Eq. 3}) \quad RE = \frac{MSE_{iso}}{MSE_{aniso}} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde  $Z^*(x_i)$  é o valor predito de  $Z$  na posição  $x_i$ ,  $Z(x_i)$  é o valor medido de  $Z$  na posição  $x_i$  e  $n$  é o número de pontos amostrais. A análise estatística e geoestatística foram realizadas com o software R; utilizou-se o pacote *gstat* (PEBESMA, 2004) para a análise geoestatística.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de variação do pH do solo (Tab.1) apresentou baixa variabilidade ( $CV \leq 15\%$ ) de acordo com WILDING; DREES (1983). Apenas a subunidade de mapeamento GL-mo exibiu distribuição de probabilidade normal (Tab.1), assim utilizou-se, para esta, o estimador de *Matheron* (WEBSTER; OLIVER, 2007) e para as outras o estimador de *CRESSIE*; HAWKINS (1980), na etapa de construção dos semivariogramas isotrópicos e anisotrópicos (LARK, 2000).

Tabela 1: Estatística descritiva e teste não paramétrico para o pH do solo na unidade e subunidades de mapeamento de solo

Estatística	UMR	GL-mo	GL-lv	GL-mo.lv
CV	6,7	7,2	6,1	3,9
Ske	0,77	0,48	0,51	0,50
Kur	0,24	-0,26	-0,43	-0,23
KS	0,00	0,07	0,03	0,00

CV= Coeficiente de variação (%), Ske = Coeficiente de assimetria, Kur = Coeficiente de curtose, KS = teste de Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade, UMR= Unidade de mapeamento em escala de reconhecimento, GL-mo = Mollic Gleysol, GL-lv= Luvic Gleysol e GL-mo.lv= Luvic Mollic Gleysol.

Considerando um caso de isotropia para o pH do solo, os semivariogramas experimentais se ajustaram melhor ao modelo teórico esférico (Tab. 2), independente da escala da unidade de mapeamento de solo.

Tabela 2: Modelos geoestatísticos isotrópicos para o pH do solo obtidos na unidade e subunidades de mapeamento de solo

UM	Estimador	Modelo	C <sub>0</sub>	C+C <sub>0</sub>	a (m)	RSS
UMR	C-H	Esférico	0,0402	0,1515	844	9x10 <sup>-04</sup>
GL-mo	M	Esférico	0,0346	0,279	1267	7x10 <sup>-04</sup>
GL-lv	C-H	Esférico	0,0346	0,1484	660	0,0011
GL-mo.lv	C-H	Esférico	0,0179	0,0555	699	8x10 <sup>-04</sup>

UM = Unidade de mapeamento de solo, C<sub>0</sub>= Efeito pepita, C+C<sub>0</sub> = Patamar, a= alcance, RSS = Soma de quadrado dos resíduos, UMR= Unidade de mapeamento em escala de reconhecimento, GL-mo = Mollic Gleysol, GL-lv= Luvic Gleysol, GL-mo.lv= Luvic Mollic Gleysol, C-H = Estimador de Cressie e Hawkins, M = Estimador de Matheron

Quando se considerou um caso de anisotropia, observou-se a presença de uma estrutura de dependência espacial mista, para todas as unidades de mapeamento de solo, a qual foi melhor descrita pelo modelo teórico duplo esférico (Tab. 3).

Tabela 3: Modelos geoestatísticos anisotrópicos para o pH do solo obtidos na unidade e subunidades de mapeamento de solo

UM	Anisotropia	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> +A <sub>2</sub>	RSS
UMR	Mista	Duplo esférico	0,04	0,14	1537	0,0485
GL-mo	Mista	Duplo esférico	0,04	0,25	2233	0,0977
GL-lv	Mista	Duplo esférico	0,04	0,26	1121	0,0046
GL-mo.lv	Mista	Duplo esférico	0,02	0,05	1035	0,0075

UM = Unidade de mapeamento de solo, C<sub>0</sub>= Efeito pepita, C<sub>1</sub>+C<sub>2</sub> = 1° e 2° contribuições do modelo aninhado, A<sub>1</sub> +A<sub>2</sub> = 1° e 2° alcance do modelo aninhado, RSS = Soma de quadrado dos resíduos, UMR= Unidade de mapeamento em escala de reconhecimento, GL-mo = Mollic Gleysol, GL-lv= Luvic Gleysol, GL-mo.lv= Luvic Mollic Gleysol.

A acurácia e eficiência relativa dos modelos geoestatísticos anisotrópicos foram superiores em relação aos isotrópicos (Tab. 4), principalmente na unidade de mapeamento de solo em escala de reconhecimento (14 e 29%) e na GL-lv (17 e 36%) corroborando com os resultados encontrados por FACAS, et al. (2010), confirmando assim a importância de incorporar a anisotropia na krigagem.

Tabela 4: Acurácia e eficiência relativa que expressam a influência da anisotropia na krigagem para o pH do solo considerando a unidade e subunidades de mapeamento de solo

Variável	UMR		GL-mo		GL-lv		GL-mo.lv	
	RA	RE	RA	RE	RA	RE	RA	RE
pH	1,14	1,29	1,01	1,02	1,17	1,36	1,06	1,09

UMR = Unidade de mapeamento em escala de reconhecimento, GL-mo = Mollic Gleysol, GL-lv= Luvic Gleysol, GL-mo.lv= Luvic Mollic Gleysol, RA = Acurácia relativa, RE = Eficiência relativa.

#### 4. CONCLUSÕES

O uso de modelos geoestatísticos anisotrópicos, para a krigagem do pH do solo apresentaram um melhor desempenho em relação aos modelos isotrópicos, permitindo assim definir áreas mais homogêneas para o manejo do solo.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRESSIE, N.; HAWKINS, D.M. Robust estimation of the variogram: I. **Mathematical Geology**. Germany, v.12, p.115-125, 1980

FACAS, N.W.; MOONEY, M.A.; FURRER, R. Anisotropy in the spatial distribution of roller-measured soil stiffness. **International Journal of Geomechanics**, Reston, v.10, n.4, p.129– 135, 2010.

GUAN, Y.; SHERMAN, M.; CALVIN, J.A. A nonparametric test for spatial isotropy using subsampling. **Journal of the American Statistical Association**, v.99, p.810–821, 2004

GUEDES, C.; PAGLIOSA, L.; URIBE-OPAZO, M.A.; RIBEIRO JUNIOR, P.J. Influence of incorporating geometric anisotropy on the construction of thematic maps of simulated data and chemical attributes of soil. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.73, n.4, p.414–423, Chillán, 2013.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

LARK, R.M. A comparison of some robust estimators of the variogram for use in soil survey. **European Journal of Soil Science**, v.51, p.137–157, 2000.

LIN, H.S.; WHEELER, D.; BELL, J.; WILDING, L. Assessment of soil spatial variability at multiple scales. **Ecological Modelling**. v.182, p. 271 – 290, 2005.

MASSEY, F.J. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. **Journal of the American Statistical Association**. v.46, p.68-78,1951.

PEBESMA, E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Computers & Geosciences**, v.30, p.683-691, 2004.

ROGOWSKI, A.S.; WOLF, J.K. Incorporating variability into soil map unit delineations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.163-174, 1994.

SALEHI, M.H.; EGHBAL, M.K.; KHADEMI, H. Comparison of soil variability in a detailed and a reconnaissance soil map in central Iran. **Geoderma**, v.111, p.45–56, 2003.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. Wiley: Chichester, 2007.

WILDING, L.P.; DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. **Pedogenesis and soil taxonomy: 1. Concepts and interactions**. Elsevier: Amsterdam, 1983. p. 83-116.

WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES. **International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO, 2014.