

GEOESTATÍSTICA E ANÁLISE MULTIVARIADA PARA AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO EM DIFERENTES PADRÕES DE USO DO SOLO EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA

**MAURICIO FORNALSKI SOARES¹; LUANA NUNES CENTENO²; SAMUEL BESKOW³; DOUGLAS RODRIGO KAISER⁴; MIGUEL FUENTES GUEVARA⁵
LUÍS CARLOS TIMM⁶**

¹Universidade Federal de Pelotas – mauriciofornalski@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – luananunescenteno@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – samuelbeskow@gmail.com

⁴Universidade Federal da Fronteira Sul – douglasrodrigokaiser@gmail.com

⁵Universidade Federal de pelotas – miguelufuge@hotmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – lctimm@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A heterogeneidade do uso do solo é uma característica fundamental a ser considerada em estudos de bacias hidrográficas, uma vez que esta intensifica a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo (MORBIDELLI et al., 2016; SHI et al., 2016). Muitos estudos demonstram que a Condutividade hidráulica do solo saturado (K_{Sat}), principalmente nas camadas superficiais do solo, aumenta gradativamente de solos degradados por uso intensivo, como por exemplo pastagem e cultivos anuais, para solos sob condições de florestas, nativas ou implantadas (BECKER et al, 2018). Solos florestais estão associados a maiores taxas de infiltração de água (KURNIANTO et al., 2018) e menor geração de escoamento superficial (KURNIANTO et al., 2018) do que solos sob outros tipos de vegetação (LIU et al., 2018).

Devido à elevada variabilidade associada aos atributos do físico-hídricos do solo, bem como ao grande número de atributos, o uso de ferramentas como a estatística multivariada e a geoestatística podem ser considerados métodos potencialmente úteis para avaliar os efeitos do uso do solo sobre os atributos físico-hídricos (BITENCOURT et al., 2016). Neste contexto dentre os métodos de estatística multivariada, tem-se a análise de componentes principais (ACP) que é uma técnica que indica as associações entre variáveis reduzindo, assim, a dimensão do número de dados e agrupando com maior similaridade (LV, 2019). Por outro lado, a geoestatística é uma ferramenta que considera a posição no espaço e a possível dependência entre as observações da variável em estudo. A krigagem ordinária é um método de interpolação espacial geoestatístico frequentemente utilizado para mapear atributos do solo, gerando mapas com estimativas não tendenciosas e variância mínima de estimação em locais não amostrados (BITENCOURT et al., 2016).

Portanto, os objetivos deste estudo foram (I) reduzir a dimensão dos atributos físico-hídricos do solo por meio da análise de componentes principais e (II) a partir de técnicas geoestatísticas mapear os resultados relativos aos componentes principais extraídos, comparando estes ao uso do solo nos pontos amostrados.

2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma sub-bacia hidrográfica da bacia hidrográfica do arroio Pelotas, denominada de bacia hidrográfica da sanga Ellert (BHSE), localizada no município de Canguçu, região Sul do Estado do Rio

Grande do Sul compreendendo uma área de drenagem de aproximadamente 0,66km².

Foi estabelecida uma malha amostral com pontos espaçados de 70 m na direção oeste por 100 m na direção sul, contabilizando 106 pontos amostrais na primeira bateria de coletas de solo. Posteriormente, a fim de melhor capturar a estrutura de variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo, foi realizado um adensamento amostral coletando mais 78 pontos, espaçados de 25 m entre si em ambas as direções, totalizando 184 pontos amostrais em toda a área da bacia. Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada na camada de 0-0,20 m, sendo determinados os seguintes atributos físico-hídricos do solo: Condutividade hidráulica do solo saturado, densidade do solo, porosidade total, micro e macroporosidade.

Após estabelecimento do banco de dados e análise estatística exploratória, foi aplicada análise de componentes principais, com o intuito de reduzir a dimensão dos dados (HAIR et al., 2009) e extrair os coeficientes fatoriais, que foram utilizados como dados de entrada na modelagem geoestatística. Nesta técnica geralmente, os primeiros componentes explicam a maior parte da variação total no conjunto de dados. No presente estudo, os PCs foram selecionados com base no fato de explicarem pelo menos 60% da variância total de cada conjunto de dados (HAIR et al., 2009).

O semivariograma experimental do coeficiente fatorial que explica a maior porcentagem da variância dos dados foi ajustado a um modelo teórico de semivariograma e os parâmetros efeito pepita (c_0), patamar ($C+c_0$) e alcance (a) foram obtidos, e posteriormente, mapeados via interpolação pelo método da krigagem ordinária. O software R-Project (R CORE TEAM, 2018) foi utilizado em todas as análises estatísticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos atributos físico-hídricos: K_{Sat} , D_s , PT , mic e mac foram reduzidos através da ACP, onde o componente principal 1 explicou 62,3% da variabilidade total dos dados, ou seja, com apenas uma componente é possível se ter uma visão geral de mais da metade da área total analisada. As cargas fatoriais representativas deste grupo foram para os atributos K_{Sat} ($r = 0,72$), PT ($r = 0,90$), mac ($r = 0,94$); e a D_s ($r = -0,90$).

Devido aos resultados da estatística multivariada, a CP1 foi selecionada para análise geoestatística. Os dados referentes aos pesos para cada ponto apresentaram distribuição normal de acordo com o teste Komogorov-Smirnov (p -valor = 0,11) e deste modo, o estimador clássico de Matheron foi empregado para construção do semivariograma experimental. O semivariograma foi ajustado pelo modelo esférico e os valores dos parâmetros alcance (a) e patamar ($C+c_0$) foram de 195,2 metros e 3,2 (-). A variância dos dados da CP1 ($S^2 = 3.1$) esta próxima do valor do $C+c_0$, indicando um ajuste satisfatório do modelo teórico ao semivariograma experimental.

Os mapas apresentados na Figura 1 são referentes à CP1 e os pontos de identificação (triângulos) são os padrões de uso do solo da BHSE. É possível observar na Figura 1(a) que os pontos referentes à floresta nativa e silvicultura estão dispostos nas regiões de menor intensidade na escala de cores, efeito contrario apresentado na Figura 1(b). É amplamente relatado na literatura o fato de que as variáveis que integraram a CP1 (D_s , PT e mac) são afetadas consideravelmente pelo uso e manejo do solo (KURNIANTO et al., 2018, LIU et al., 2018; BITENCOURT et al., 2016; MORBIDELLI et al., 2016). Os mapas apresentados na Figura 1 sugerem que a componente principal CP1, aquela que

explica a maior parte da variância dos dados da K_{Sat} na área da BHSE, possa estar relacionada ao uso do solo uma vez que os tipos de uso associados a maior e menor geração de condutividade hidráulica do solo saturado ficaram espacialmente estratificados.

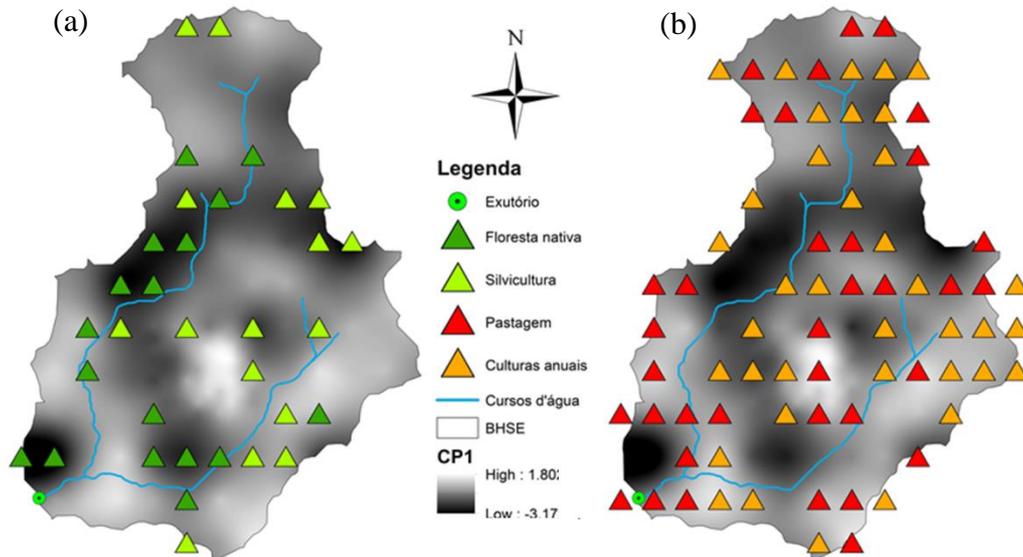


Figura 1 – Mapas da componente principal 1 identificando os usos do solo na BHSE: (a) floresta nativa e silvicultura e (b) pastagem e culturas anuais.

4. CONCLUSÕES

A análise de componentes principais apresentou resultados promissores por meio da CP1 explicando 62,3% da variância dos atributos físico-hídricos do solo na área da bacia. Os resultados referentes a análise geoestatística demonstraram um ajuste satisfatório do semivariograma e dos parâmetros utilizados para interpolação por krigagem ordinária. Os padrões de uso do solo em contraste com os mapas da componente principal sugerem uma forte ligação entre estes fenômenos, destacando a necessidade de mais estudos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHER, N. et al. Soil characteristics and landcover relationships on soil hydraulic conductivity at a hillslope scale: A view towards local flood management. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 497, p.208-222, ago. 2013. Elsevier

BECKER, R.; GEBREMICHAEL, M.; MÄRKER, M.. Impact of soil surface and subsurface properties on soil saturated hydraulic conductivity in the semi-arid Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, USA. **Geoderma**, [s.l.], v. 322, p.112-120, jul. 2018. Elsevier BV.

HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.

KURNIANTO, S. et al. The influence of land-cover changes on the variability of saturated hydraulic conductivity in tropical peatlands. **Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change**, [s.l.], v. 24, n. 4, p.535-555, 19 mar.

LIU, Z. et al. Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 178, p.139-149, maio 2018. Elsevier BV.

MORBIDELLI, R. et al. An investigation of the effects of spatial heterogeneity of initial soil moisture content on surface runoff simulation at a small watershed scale. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 539, p.589-598, ago. 2016. Elsevier BV.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
URL <https://www.R-project.org/>.

SHI, Y. et al. The Effects of Long-term Fertiliser Applications on Soil Organic Carbon and Hydraulic Properties of a Loess Soil in China. **Land Degradation & Development**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.60-67, 15 maio 2015. Wiley.