

CORRELAÇÃO CANÔNICA CRUZADA NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLO SATURADO EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA

RODRIGO VALANDRO MAZZARO¹; NATHAN BELLUZZO DA SILVEIRA²;
LUANA NUNES CENTENO³; SAMUEL BESKOW⁴; LUCIANA MONTEBELLO DE
OLIVEIRA⁵; LUÍS CARLOS TIMM⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – *rvmazzaro@gmail.com*

²Universidade Federal de Pelotas – *nathanbelluzzo@hotmail.com*

³Universidade Federal de Pelotas – *luananunescenteno@gmail.com*

⁴Universidade Federal de Pelotas – *samuel.beskow@ufpel.edu.br*

⁵Universidade Federal de Pelotas – *lumontebello@hotmail.com*

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

1. INTRODUÇÃO

Os atributos físicos-hídricos e topográficos do solo variam ao longo do espaço e do tempo (CASTELLINI et al., 2019), sendo consequência das características intrínsecas do material de origem, as quais estão relacionadas com a mineralogia e os fatores de formação do mesmo (TOWETT et al., 2015).

A condutividade hidráulica de solo saturado (K_{sat}) depende tanto da estrutura quanto da textura do solo, práticas de uso e manejo bem como de atributos relacionados ao relevo, que alteram a estrutura do solo, e modificam a porosidade. Neste contexto, ALMEIDA et al. (2017) destacam a necessidade da análise múltipla destes atributos para a compreensão da K_{sat} .

Uma das formas de compreender a variabilidade e as inter-relações existentes nos atributos do solo é através da análise em bacias hidrográficas, uma vez que esta é compreendida como uma unidade territorial (HUANG et al., 2018). Desta forma, métodos estatísticos podem ser aplicados no intuito de um melhor entendimento dos atributos envolvidos.

Dentre os métodos estatísticos, a análise estatística multivariada vem sendo bastante utilizada, pois permite simplificar a interpretação dos resultados, uma vez que analisa, simultaneamente, múltiplos atributos (HAIR JUNIOR et al., 2009). A análise de correlação canônica é um procedimento estatístico multivariado que permite verificar as correlações lineares existentes entre dois grupos ou conjuntos de variáveis (X e Y). Essa análise consiste na obtenção de um par de variáveis estatísticas canônicas, as quais são combinações lineares das variáveis dos dois vetores (X e Y) (FERREIRA, 2008).

Frente ao exposto, este estudo objetivou utilizar a análise de correlação canônica para verificar as associações existentes entre dois grupos formados por atributos físico-hídricos e topográficos do solo, separados através do comportamento da K_{sat} , ao longo de um transecto espacial de 15 km estabelecido na bacia hidrográfica do arroio Fragata, no sul do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

Na bacia hidrográfica do arroio Fragata (BHAF), à montante da seção de controle Ponte Passo dos Carros (BHAF-PPC), foram coletadas 100 amostras de solo, com estrutura deformada e indeformada na camada de 0,00 a 0,20 m de profundidade, espaçadas de 150 m ao longo de uma transeção de 15 km.

Foram determinadas as seguintes propriedades físico-hídricas do solo, utilizando as metodologias citadas: frações texturais (GEE; BAUDER, 1986), Macroporosidade (MA) (EMBRAPA, 1997) e Condutividade Hidráulica do Solo

Saturado (Ksat) pelo método do permeâmetro de carga constante (LIBARDI, 2005). Com relação ao relevo, foi extraído o valor de elevação de cada ponto amostral a partir do Modelo Digital de Elevação derivado da base cartográfica de HASENACK e WEBER (2010), na escala de 1:50.000. Em cada ponto, também foi identificado o tipo de uso do solo, o qual foi categorizado a partir dos valores médios de Ksat, em função da sua magnitude.

Antes da aplicação da análise de correlação canônica, foi realizado uma análise espacial da variabilidade dos dados de Ksat, através de um gráfico de dispersão. Neste gráfico foi possível observar uma variabilidade distinta da primeira parte (0 a 7,5km) do transecto para a segunda metade (7,65 a 15,0km), as quais apresentaram valores de amplitude de respectivamente 287,13 e 469,63, com respectivos valores máximos de 287,78 e 471,31. Após esta separação foi aplicada a análise de correlação canônica, estimando as cargas canônicas, que são as correlações entre as variáveis originais e suas respectivas variáveis estatísticas canônicas e as cargas canônicas cruzadas, que representam a correlação entre a variável original de um determinado grupo e a variável estatística canônica do outro grupo. Utilizou-se o teste multivariado de significância Lambda de Wilks (aproximação da distribuição F) para avaliar a significância das raízes canônicas conjuntamente, sendo esta determinada elevando ao quadrado a correlação canônica.

Elevando-se ao quadrado as cargas canônicas obteve-se a quantidade de variância compartilhada explicada entre as variáveis observadas dependentes e independentes e as suas respectivas variáveis estatísticas canônicas. O mesmo foi realizado para as cargas canônicas cruzadas com o intuito de estimar a variância compartilhada explicada entre a variável dependente ou independente observada com a variável estatística canônica oposta. Determinou-se ainda o índice de redundância como sendo a carga canônica quadrada média vezes o coeficiente de determinação (r^2) canônico.

Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software R versão 3.6.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018), e os pacotes CCA e CCP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A função canônica 1 explicou por meio do seu coeficiente de determinação 60% das variáveis e a correlação canônica desta função foi de 77% entre as variáveis estatísticas canônicas independente e dependente, sendo assim a mais expressiva para os grupos de características analisadas. Ademais com relação a função 1 o teste qui quadrado, com 36 graus de liberdade, resultou em 74, com um p-valor de $<0,05$, e o Lambda Prime de 0,1766. Sendo assim na Tabela 1, encontram-se as cargas canônicas e as cargas canônicas cruzadas, bem como o cálculo realizado para obter-se o índice de redundância para a função canônica 1.

Analisando as cargas canônicas para a variável canônica relativa à primeira parte do transecto espacial (0 a 7,5 km), observa-se que elevação, areia e uso do solo apresentaram, em módulo, os valores mais elevados. Já para o grupo da segunda parte do transecto espacial (7,65 a 15 km), as variáveis elevação e uso do solo continuaram apresentando os valores mais elevados, sendo que a mudança foi com relação à variável areia que passou a ser representada pela argila.

Tabela 1 - Cargas Canônicas, Cargas Canônicas Cruzadas, Cargas Canônicas Quadrada e Cargas Canônicas Cruzada Quadrada para a Função Canônica 1.

Variáveis	Carga Canônica	Carga Canônica Cruzada	Carga Canônica Quadrada	Carga Canônica Cruzada Quadrada
Ksat	0,068	0,053	0,005	0,003
Elevação	0,736	0,568	0,542	0,322
Argila	-0,052	-0,040	0,003	0,002
Areia	-0,298	-0,230	0,089	0,053
Macroporosidade	0,068	0,053	0,005	0,003
Uso do Solo	0,153	0,118	0,023	0,014
			0,111	0,066
Ksat	0,172	0,133	0,030	0,012
Elevação	0,844	0,651	0,713	0,424
Argila	0,340	0,262	0,115	0,069
Areia	0,091	0,070	0,008	0,005
Macroporosidade	0,15	0,089	0,013	0,008
Uso do Solo	0,186	0,143	0,034	0,021
		Média	0,152	0,091

Esses resultados evidenciam que a Ksat para a primeira parte do transecto está correlacionada positivamente com as variáveis elevação, macroporosidade e uso do solo e negativamente com a textura do solo, ou seja, com as variáveis argila e areia. Entretanto, na segunda parte do transecto, a variável Ksat apresentou uma correlação positiva com todas as variáveis, porém a correlação com a variável areia pode ser desconsiderada devido ao baixo valor obtido, fato este explicado pelo aumento da textura argilosa no solo ao longo do transecto.

Com relação aos percentuais de variância explicados para a primeira parte do transecto, o atributo topográfico elevação, juntamente com a areia e o uso do solo, apresentaram os maiores valores de variância. Porém, a elevação apresentou um percentual superior aos demais, sendo aproximadamente 54% da variância explicados pela variável estatística canônica independente. Nota-se ainda que, em média, a quantidade de variância compartilhada explicada pela variável estatística canônica independente foi de 11,1%.

A quantidade de variância compartilhada explicada pela variável estatística canônica dependente foi, em média, 15,2%. Nota-se que houve um aumento no percentual de variância explicada de praticamente todas as variáveis, onde ocorreu um aumento significativo da argila juntamente com o decaimento da areia.

Quanto às cargas canônicas cruzadas ao quadrado, observa-se que aproximadamente 42% da elevação da segunda parte do transecto pode ser explicada pela variável estatística canônica independente. Esse resultado reforça a importância da elevação do terreno ao longo do transecto.

Quanto aos índices de redundância encontrados, observa-se que aproximadamente 26% da variância nas variáveis dependentes foram explicados pelas variáveis independentes, resultado que se repete quando busca-se explicar o inverso.

4. CONCLUSÕES

Após análise dos resultados pode-se concluir que a variável elevação pode ser considerada a variável mais relevante no que tange à correlação canônica das variáveis ao longo de todo transecto sob influência da Ksat. Também se conclui

que quando busca-se explicar as variáveis de uma parte do transecto a partir de outra parte, o resultado é semelhante, mostrando assim que existe uma correlação entre elas, mesmo a primeira parte do transecto apresentando uma amplitude menor que a segunda parte da transeção.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal de Pelotas pelo aporte físico e financeiro aos bolsistas envolvidos no presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, K. S. S. A.; SOUZA, L. S.; PAZ, V. P. S.; SILVA, F. T. S.; SANTOS, D. N.; PEREIRA, J. S. L. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em latossolo amarelo distrocoeso, no município de Cruz das Almas. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n.2, p. 259-274, 2017.
- CASTELLINI, M.; STELLACI, A. M.; BARCA, E.; LOVINO, M. Application of Multivariate Analysis Techniques for Selecting Soil Physical Quality Indicators: A Case Study in Long-Term Field Experiments in Apulia (Southern Italy). **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 83, n. 3, p.707-720, 2019.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 212 p., 1997.
- FERREIRA, D.F. **Estatística Multivariada**. Lavras: UFLA, 2008. 662p.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size Analysis. In: PAGE, A.L. (ed.). Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods. Second Edition, Agronomy, p. 383 – 411, 1986.
- HAIR JUNIOR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.
- HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).
- HUANG, J.; XIAO, Z.; FLAHAUT, J.; MARTINOT, M.; HEAD, J.; XIAO, X.; XIE, M.; XIAO, L. Geological Characteristics of Von Kármán Crater, Northwestern South Pole-Aitken Basin: Chang'E-4 Landing Site Region. **Journal Of Geophysical Research: Planets**, [s.l.], v. 123, n. 7, p.1684-1700, 2018.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- SHE, D.L.; ZHENG, J.X.; SHAO, M.A.; TIMM, L.C.; XIA, Y.Q. Multivariate Empirical Mode Decomposition Derived Multi-Scale Spatial Relationships between Saturated Hydraulic Conductivity and Basic Soil Properties. **Clean - Soil, Air, Water**, [s.l.], v. 43, n. 6, p.910-918, 2015.
- TOWETT, E. K.; SHEPHERD, K. D.; TONDOH, J. E.; WINOWIECKI, L. A.; LULSEGED, T.; NYAMBURA, M.; SILA, A.; VAGEN, T.; CADISCH, G. Total elemental composition of soils in Sub-Saharan Africa and relationship with soil forming factors. **Geoderma Regional**, [s.l.], v. 5, p.157-168, 2015.