

## **ANÁLISE DE INCERTEZA DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO POR MEIO DE SIMULAÇÃO GEOESTATÍSTICA EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA**

**RODRIGO CÉSAR DE VASCONCELOS DOS SANTOS<sup>1</sup>; MAURICIO FORNALSKI SOARES<sup>1</sup>; TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA<sup>2</sup>; LUÍS CARLOS TIMM<sup>3</sup>; SAMUEL BESKOW<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doutorando da UFPel/PPG em Recursos Hídricos – drigovasc@hotmail.com;  
mauriciofornalski@gmail.com

<sup>2</sup>Docente da UFPel/Centro de Engenharias - tirzahmelo@hotmail.com

<sup>3</sup>Docente da UFPel/Departamento de Engenharia Rural - luisctimm@gmail.com

<sup>4</sup>Docente da UFPel/Centro de Desenvolvimento Tecnológico – samuelbeskow@gmail.com

### **1. INTRODUÇÃO**

O entendimento da dinâmica da água no perfil do solo é de extrema importância para o planejamento, gerenciamento e execução de atividades que visam à manutenção da qualidade ambiental, do mesmo modo que é imprescindível para entender e prever uma variedade de processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica.

No entanto, os solos possuem alta variabilidade espacial, principalmente quando é analisado em escalas de bacias hidrográficas, devido aos diversos processos físicos, químicos e biológicos que atuam simultaneamente com diferentes intensidades em sua formação, refletindo assim numa elevada heterogeneidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) e dificultando o entendimento do movimento da água no solo.

Nesse sentido, a utilização da geoestatística, através da simulação estocástica como ferramenta para obter informações onde não foi possível realizar observações permite um melhor entendimento da heterogeneidade dos solos, facilita a análise da conectividade espacial dos mesmos e fornece uma visão espacial da realidade, culminando na diminuição dos custos de amostragens e análises, especialmente quando se trata de analisar grandes áreas.

Dentre as diversas técnicas de simulação geoestatística, a simulação sequencial gaussiana tem-se mostrado promissora e utilizada para reproduzir a conectividade espacial de atributos do solo, bem como servir de ferramenta para a análise de incertezas dos valores simulados (HU et al. 2007; TEIXEIRA et al. 2011; MELO 2015).

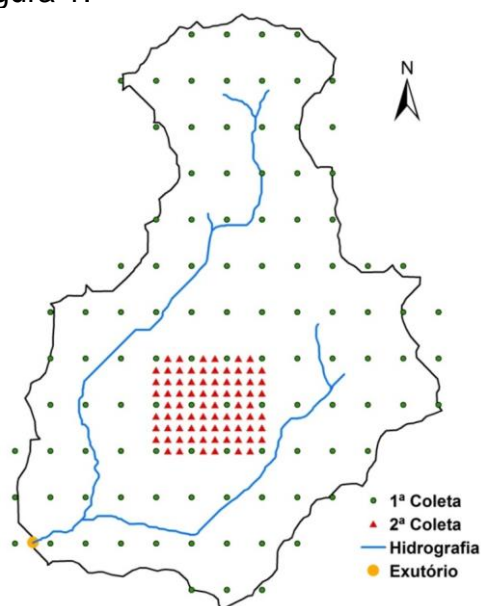
Nesse sentido, devido à importância da  $K_0$  para a produtividade agrícola bem como para a conservação do solo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as incertezas de  $K_0$ , por meio da simulação sequencial gaussiana, na bacia hidrográfica sanga Ellert, localizada no sul do Rio Grande do Sul, Brasil.

### **2. METODOLOGIA**

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica sanga Ellert, localizada no município de Canguçu – RS, que possui área de 0,66 km<sup>2</sup> e a altitude varia de 310,9 a 419,4 m, cujo solo predominante é o Neossolo.

A coleta de solos foi realizada obedecendo a um grid amostral espaçado de 75 m x 100 m, cobrindo toda a área da bacia, totalizando 106 pontos de coleta. Posteriormente, foi realizada uma segunda etapa para um melhor detalhamento

amostral, com 78 pontos, cujo espaçamento foi de 25 m x 25 m, totalizando assim 184 pontos, conforme a Figura 1.



**Figura 1 - Mapa da bacia hidrográfica e o grid amostral após adensamento**

Para avaliar a condutividade hidráulica do solo saturado foram utilizadas as amostras indeformadas de solo contidas em cilindros de 5,0 cm de altura e 4,8 cm de diâmetro. Para cada um dos 184 cilindros contendo as amostras, foi adicionado sobre os mesmos um anel com a altura de 4,0 cm e o método utilizado para determinação de  $K_0$  foi por meio do permeâmetro de carga constante, como o desenvolvido por Darcy (1856).

A análise da variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado foi feita por meio de simulação geoestatística, mais especificamente, simulação sequencial gaussiana, através dos softwares GSLib (Geoestatistical Software Library; DEUTSCH e JOURNAL, 1998) e SGeMS (Stanford Geoestatistical Modeling; REMY et al. 2009), ambos de domínio público.

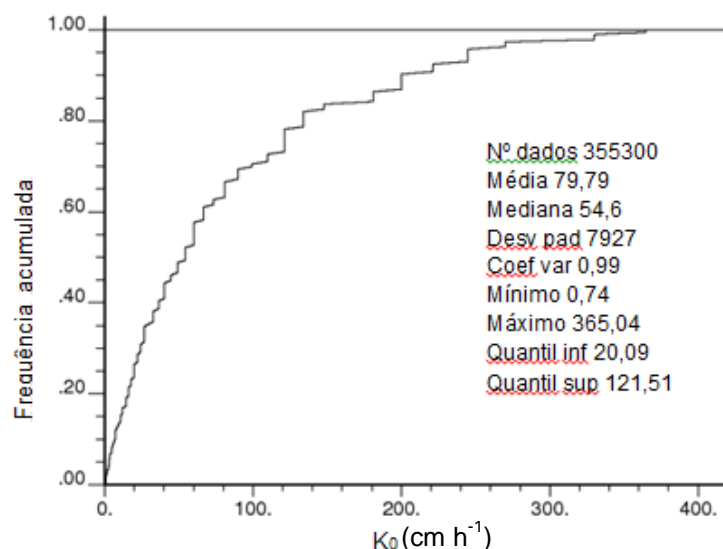
Inicialmente foi feita uma análise exploratória dos dados e na sequência determinado o semivariograma experimental conforme recomendações de Goovaerts (1997).

Posteriormente, utilizou-se da simulação sequencial gaussiana para a geração de 100 campos equiprováveis, como recomendado por Melo (2015) e Zhao et al. (2017), cuja validação foi atendida perfeitamente.

De posse dos dados gerados para os cem campos foram calculados os percentis de 5 e 95% para determinação da incerteza associada à  $K_0$  para a bacia hidrográfica sanga Ellert.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 retrata a incerteza da condutividade hidráulica do solo saturado na bacia hidrográfica sanga Ellert.



**Figura 2 - Probabilidade cumulativa da condutividade hidráulica do solo saturado**

A incerteza espacial foi calculada através de probabilidade cumulativa, já que a mesma ajuda na determinação da confiabilidade em delinear áreas com alta probabilidade de exceder determinado valor crítico e, dessa forma, representa um indicativo da incerteza espacial (OLIVEIRA et al. 2014). As transformações efetuadas para facilitar a simulação de  $K_0$  foram removidas, ou seja, os valores usados foram os reais, para determinar os percentis e assim obter os resultados finais deste trabalho.

Como parâmetro final para determinar as incertezas da condutividade hidráulica do solo saturado, foram escolhidos os campos aleatórios referentes a 5% e a 95% de probabilidade de não excedência dos valores simulados, representando, desta forma, um cenário mais favorável e outro mais desfavorável ao fluxo de água no solo. Portanto, foram calculadas as médias de cada campo e em seguida, determinados os percentis. Com base nestes valores, foram selecionados os dois campos aleatórios cujas médias mais se aproximaram destes percentis.

Os percentis de 5% e 95% para os dados simulados foram respectivamente de 3,32 e 244,69  $\text{cm h}^{-1}$ . Sendo assim, pode-se afirmar com 90% de certeza com base nos valores simulados que a condutividade hidráulica do solo saturado está entre 3,32 e 244,69  $\text{cm h}^{-1}$  na bacia hidrográfica sanga Ellert.

De acordo com Zhao et al. (2017) a simulação sequencial gaussiana é uma ferramenta eficaz para coletar incertezas de mapeamento em vários locais simultaneamente, o que não é possível através da técnica baseada na krigagem. Todavia, essa incerteza para a propriedade em estudo, possivelmente está associada a fatores climáticos, topográficos, de uso e cobertura do solo, textura, porosidade, compactação, tipo da amostragem e até a própria malha amostral utilizada no presente estudo.

Neste caso, a incerteza muito grande indica que a condutividade hidráulica do solo saturado é extremamente heterogênea e que, portanto, deve-se levá-la em consideração para projetos de irrigação, modelagem hidrológica, dentre outros, para assim tomar decisões pertinentes ao projeto que se deseja executar.

De acordo com Hu et al. (2007) o método de simulação sequencial gaussiana mantém a estrutura espacial da condutividade hidráulica do solo saturado, bem como fornece a incerteza associada com  $K_0$  em pontos não amostrados, sendo estes os principais resultados obtidos nesta pesquisa.

#### 4. CONCLUSÕES

As múltiplas realizações obtidas pela simulação sequencial gaussiana permitiu avaliar a incerteza global da condutividade hidráulica do solo saturado, a qual mostrou ser significativa, visto a amplitude entre os percentis de 5 e 95%, indicando que na bacia hidrográfica sanga Ellert existe alta variabilidade da propriedade analisada.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À UFPel pela oportunidade de realização do doutoramento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudo e pesquisa aos autores.

Aos produtores rurais da bacia hidrográfica sanga Ellert pela permissão da realização deste estudo em suas propriedades.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB Geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University Press, p.369, 1998.

HU, K., WHITE, R., CHEN, D., LI, B., LI, W., Stochastic simulation of water drainage at the field scale and its application to irrigation management. **Agricultural Water Management**. v. 89, p. 123–130, 2007.

MELO, T. M., **Simulação estocástica dos impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação na região noroeste do Rio Grande do Sul**. 2015. 150p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

OLIVEIRA, I. R., TEIXEIRA, D.D.B., PANOSSO, A. R., JÚNIOR, J. M., PEREIRA, G. T. Modelagem e quantificação da incerteza espacial do potássio disponível no solo por simulações estocásticas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.49, n.9, p.708-718, set. 2014.

REMY, N., BOUCHER, A., WU, J. **Applied Geoestatics with SGeMS: A User's Guide**, Cambridge University Press, p. 284, 2009.

TEIXEIRA, D. B., BICALHO, E. S., PANOSSO, A. R., PERILLO, L. I., IAMAGUTI, J. L., PEREIRA, G. T., SCALA JÚNIOR, N. L. Krigagem Ordinária e Simulação Sequencial Gaussiana na Interpolação da Emissão de CO<sub>2</sub> do Solo. **Revista Energia na Agricultura**. Vol. 26, n.3, p.26-42. Botucatu. 2011.

ZHAO, Y., LEI, J., TUMARBAY, H., XUE, J. (2017). Using sequential Gaussian simulation to assess the uncertainty of the spatial distribution of soil salinity in arid regions of Northwest China. **Arid Land Research and Management**, DOI: 10.1080/15324982.2017.1378771.