

## ESTRUTURA DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE VAN GENUCHTEN EM ÁREA DE VÁRZEA, ANTES E DEPOIS DA SISTEMATIZAÇÃO

ALEXSSANDRA DAYANNE SOARES DE CAMPOS<sup>1</sup>; TAMARA LEITZKE  
CALDEIRA<sup>1</sup>; MAURÍCIO FORNALSKI SOARES<sup>2</sup>; JOSÉ MARIA BARBAT  
PARFITT<sup>3</sup>; LUIS CARLOS TIMM<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Discente da UFPel/PPG Manejo e Conservação do Solo e da Água –  
alexssandra1\_sc@yahoo.com.br; tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

<sup>2</sup>Discente da UFPel/PPG Recursos Hídricos – mauriciofornalski@gmail.com

<sup>3</sup>Pesquisador(a) da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS- jose.parfitt@embrapa.br

<sup>4</sup>Docente da UFPel/Departamento de Engenharia Rural – lctimm@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

As áreas de várzeas do sul do Rio Grande do Sul têm como característica predominante a má drenagem, tendo em vista que os solos são planos e rasos – com baixa condutividade hidráulica – e apresentam uma camada restritiva próximo à superfície (WINKLER et al., 2013). Desta forma, a ocorrência de chuvas com intensidade superior à capacidade de infiltração implica na saturação do solo e no acúmulo de água nas depressões do terreno, prejudicando, dentre outros aspectos, a germinação de sementes e o desenvolvimento das culturas.

Uma prática que vem sendo empregada consiste na sistematização dos solos de várzeas, a qual traz como benefícios a padronização da declividade do terreno, a uniformização da distribuição da irrigação e a melhora nas condições de campo para práticas agrícolas (BRYE et al., 2006). A facilitação da mecanização agrícola e o aumento da eficiência da irrigação, com redução do consumo de água e a promoção da conservação dos recursos hídricos são pontos positivos levantados por Parfitt et al. (2014). Por outro lado, a sistematização provoca a mistura dos horizontes do solo e altera suas condições naturais (BRYE et al., 2006), de fato este torna-se totalmente pertinente o estudo dos impactos decorrentes a esta prática.

A variabilidade espacial de atributos do solo está, segundo Nebel (2009), associada a fatores, como processos pedogenéticos, variações climáticas e práticas de manejo, como a sistematização. Segundo Nielsen; Wendroth (2003), a descrição do padrão de variabilidade espacial de um atributo do solo permite a identificação de subáreas, na área em análise, que poderão ser tratadas de forma individual. Contudo, esta descrição só é possível quando se considera a posição espacial dos valores amostrais e a estrutura de dependência espacial do atributo.

Quando um atributo do solo varia de um local para outro com alguma organização ou continuidade – expressa através da dependência espacial – a estatística clássica e a geoestatística podem ser empregadas de forma conjunta (REICHARDT; TIMM, 2004). Contudo, isso só é possível quando se considera a posição espacial dos valores amostrais e a estrutura de dependência espacial do atributo.

Frente ao exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da sistematização de uma área experimental sobre a estrutura de dependência espacial dos parâmetros da equação de van Genuchten (1980), proposta para descrever a curva de retenção de água no solo.

## 2. METODOLOGIA

A área experimental deste estudo consiste em 1 ha localizada na Estação Experimental de Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, no município de Capão do Leão/RS. O local apresenta duas distintas classes taxonômicas de solo, a saber: Planossolo Háplico eutrófico gleissólico e Gleissolo Háplico Ta eutrófico solódico, sendo que o primeiro ocorre em áreas mais altas e, o segundo, em áreas mais baixas (EMBRAPA, 2006).

As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas por Parfitt (2009) ao longo de uma malha regularmente distribuída, constituída por 100 pontos equidistantes 10 metros entre si em ambas as direções. Esta amostragem ocorreu em dois momentos distintos: 1) antes da sistematização, quando não havia cultura implantada na área; e 2) após a sistematização, quando aproximadamente metade da área foi cortada, e a outra, aterrada.

Em laboratório, foram determinadas as curvas de retenção de água no solo nas tensões de 1, 6, 10, 33, 100 e 1500 kPa para cada ponto amostrado antes e após a sistematização. Em seguida, foi empregado o software SWRC – 3.0 (DOURADO NETO et al., 2001) para ajustar os parâmetros  $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$  e  $n$  do modelo matemático proposto de van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot \psi)^n]^m} \quad (1)$$

em que  $\theta$  é o conteúdo de água no solo ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\theta_s$  é o conteúdo de água na condição de solo saturado ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\theta_r$  é o conteúdo residual de água no solo ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\psi$  é a tensão de retenção da água no solo (kPa),  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros de ajuste, sendo  $\alpha$  na unidade de  $\text{kPa}^{-1}$  e,  $m$  e  $n$ , adimensionais. Cabe ressaltar que o parâmetro  $m$  foi obtido com base na relação  $m = 1 - 1/n$ .

Os parâmetros do modelo de van Genuchten (1980) para cada ponto da malha amostral, antes e depois da sistematização, foram submetidos a uma análise estatística exploratória e ao teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a um nível de significância de 5%, tendo sido essas análises realizadas no software Assistat.

Para a análise de dependência espacial dos parâmetros, realizou-se o cálculo do semivariograma experimental isotrópico e ajustaram-se modelos teóricos de semivariograma cada um deles, utilizando o software GS+ v. 10. O ajuste dos modelos teóricos foi avaliado através do coeficiente de determinação  $r^2$  e do Grau de Dependência Espacial (GDE) de Cambardella et al. (1994).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise estatística descritiva aplicada aos parâmetros da equação de van Genuchten (1980), antes e após a sistematização da área experimental. Da tabela verifica-se que a sistematização provocou um decréscimo dos valores médios do conteúdo de água na saturação e de  $\alpha$  e um aumento no valor médio de  $n$ . Também observa-se que os valores da média e mediana da variável  $\theta_s$  são similares tanto antes quanto depois da sistematização, o contrário ocorreu para as variáveis  $\alpha$  e  $n$ . A sistematização aumentou a dispersão dos valores de todas as variáveis (os coeficientes de variação aumentaram) em torno dos respectivos valores médios, i.e., provocou uma maior heterogeneidade dos dados na área. Do ponto de vista do efeito sobre o tipo de distribuição dos dados, verifica-se que não houve efeito da

movimentação intensa de solo na área provocada pela sistematização por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade (Tab. 1).

Tabela 1. Resultados da estatística descritiva e teste de normalidade aplicados aos parâmetros ajustados do modelo de van Genuchten (1980), antes e depois da sistematização

Parâmetro	Média	Mediana	Coeficiente de			KS
			Varição (%)	Assimetria	Curtose	
$\theta_s^1$	0,40 m <sup>3</sup> . m <sup>-3</sup>	0,40 m <sup>3</sup> . m <sup>-3</sup>	7,7	-0,21	0,39	0,06 <sup>N</sup>
$\theta_s^2$	0,39 m <sup>3</sup> . m <sup>-3</sup>	0,38 m <sup>3</sup> . m <sup>-3</sup>	9,0	-0,04	2,24	0,07 <sup>N</sup>
$\alpha_1$	0,78	0,62	87,6	2,01	4,21	0,23 <sup>NN</sup>
$\alpha_2$	0,75	0,46	108,9	2,73	9,53	0,23 <sup>NN</sup>
$n_1$	1,23	1,16	13,5	1,53	1,70	0,20 <sup>NN</sup>
$n_2$	1,52	1,47	22,6	1,51	5,00	0,10 <sup>NN</sup>

1 – antes da sistematização; 2 – depois da sistematização; N – normal ao nível de 5% de significância; NN – não normal ao nível de 5% de significância

As Figuras 1A e B apresentam os semivariogramas isotrópicos experimentais e teóricos dos parâmetros  $\theta_s$ ,  $\alpha$  e  $n$  do modelo de van Genuchten (1980), antes (Fig. 1A) e após a sistematização (Fig. 1B). Na Tabela 2 são apresentados os modelos teóricos de semivariogramas e os respectivos valores do efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ) e alcance ( $A$ ) bem como os valores do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e do grau de dependência espacial (GDE) para cada variável, antes e após a sistematização.

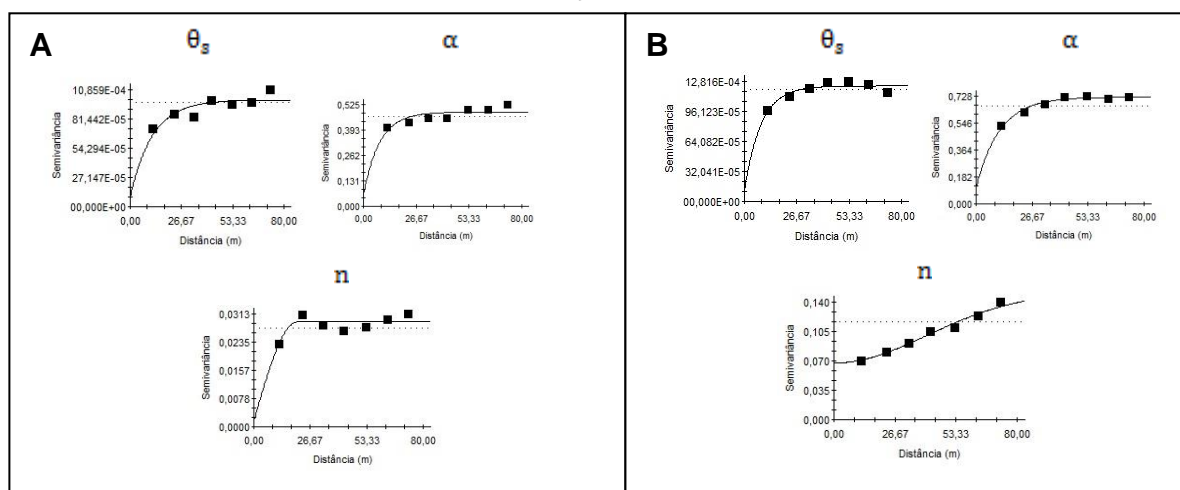


Figura 1. Semivariogramas isotrópicos experimentais e teóricos dos parâmetros do modelo de van Genuchten antes (A) e depois (B) da sistematização.

Tabela 2. Modelos de semivariogramas teóricos de  $\theta_s$ ,  $\alpha$  e  $n$  e respectivos parâmetros e estatísticas referentes aos ajustes, antes e depois da sistematização.

Antes da sistematização						
Parâmetro	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	$A$	$r^2$	GDE (%)
$\theta_s$	Exponencial	$9,50 \times 10^{-05}$	$9,09 \times 10^{-04}$	34,80	0,73	10,5
$\alpha$	Exponencial	$6,00 \times 10^{-02}$	$4,86 \times 10^{-01}$	24,60	0,58	12,4
$n$	Esférico	$1,76 \times 10^{-03}$	$2,91 \times 10^{-01}$	20,50	0,65	0,6
Depois da sistematização						
Parâmetro	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	$A$	$r^2$	GDE (%)
$\theta_s$	Exponencial	$1,22 \times 10^{-04}$	$1,23 \times 10^{-03}$	25,5	0,83	9,9
$\alpha$	Exponencial	$1,10 \times 10^{-01}$	$7,22 \times 10^{-01}$	33,90	0,96	15,2
$n$	Gaussiano	$6,77 \times 10^{-02}$	$1,52 \times 10^{-01}$	100,29	0,98	44,4

Da Tabela 2 nota-se que a sistematização não alterou o modelo de semivariograma teórico das variáveis  $\theta_s$  e  $\alpha$ , enquanto que alterou o modelo de semivariograma de  $n$  passando de esférico (antes) para gaussiano (depois da

sistematização). Também observa-se que a sistematização diminuiu os valores de  $C_0$  para as três variáveis. Já o valor do patamar ( $C_0+C$ ) foi afetado pela sistematização, diminuindo para  $\theta_s$  e  $n$  e aumentando no caso do semivariograma de  $\alpha$ . Os valores de alcance ( $A$ ) aumentaram para as variáveis  $\alpha$  e  $n$  e diminuíram para  $\theta_s$  após a sistematização (Tab. 2). Com relação ao GDE (CAMBARDELLA et al., 1994), verifica-se a sistematização alterou somente para a variável  $n$ , passando de forte ( $GDE \leq 25\%$ ) para moderado ( $25\% < GDE \leq 75\%$ ). Para as demais variáveis, o GDE permaneceu classificado como forte após a sistematização.

#### 4. CONCLUSÕES

A sistematização alterou a estrutura de dependência espacial dos parâmetros do modelo de van Genuchten (1980).

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRYE, K.R.; SLATON, N.A. & NORMAN, R.J. Soil physical and biological properties as affected by land leveling in a clayey Aquert. **Soil Science. Society. Am. J.**, 70:631-642, 2006.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F. & KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science. Society. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.
- DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Soil water retention curve**, SWRC software (version 3.0 beta) Piracicaba, SP, Brasil, 2001. CD-ROM.
- EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Embrapa Solos, 2006. 306p.
- NEBEL, A.L.C. **Funções de pedotransferência e estrutura de variabilidade espacial da retenção de água em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. 2009. Tese (Doutorado em Pós Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas.
- NIELSEN, D. R.; WENDROTH, O. **Spatial and temporal statistics: Sampling field soil and their vegetation**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2003. 398 p.
- Parfitt, J. M. B.; TIMM, L. C.; REICHARDT, K.; PAULETTO, E. A. Impacts of land leveling on lowland soil physical properties. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 38, p. 315-326, 2014.
- Parfitt, J. M. B. **Impacto da sistematização sobre atributos físicos, químicos e biológico em solos de várzea**. 2009.92f. Tese (Doutorado em Solos) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: EditoraManole, 2004. 478p.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.
- WINKLER, A. S.; PARFITT, J. M. B. ; TEIXEIRA, C. F. A. ; SANTOS, F. J. . EFEITO DA DECLIVIDADE SOBRE A DRENAGEM SUPERFICIAL EM ÁREA SISTEMATIZADA. In: **VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, 2013, Santa Maria/RS. Anais VIII CBAI, 2013. v. 2. p. 1132-1135.