

ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DO MODELO VAN GENUCHTEN-MUALEM COM FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA - ROSETTA

VIANA, J. L.¹; SOUZA, J. L. M.¹; SANTOS, A. A.¹; ROSA, S. L. K.¹

¹Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente estudo avaliar o desempenho das funções de pedotransferência do programa Rosetta (“Rosetta - textura”, baseado na classe textural; e “Rosetta – teores”, baseado nos teores de argila, silte e areia, e densidade do solo), incorporado ao Hydrus 1D, na determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten-Mualem de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, na região Noroeste do Paraná, desenvolvido no Arenito Caiuá. Foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m e determinados: teores de argila, silte, areia, areia fina e grossa; densidade do solo (ρ_s); e os parâmetros da curva de retenção de água no solo. Os parâmetros da curva de retenção de água no solo obtidos com as funções de pedotransferência apresentam desempenho insatisfatório ($0,16 < d < 0,70$ e $0,55 < R^2 < 0,95$) para estimativa da umidade do solo. A simplicidade das funções de pedotransferência analisadas e as especificidades do solo arenoso contribuíram para os resultados insatisfatório. Sugere-se incluir, nas funções de pedotransferência, o fracionamento dos teores de areia (grossa e fina), devido à interferência na retenção de água no solo.

Palavras-chave: textura do solo; Hydrus; curva de retenção de água no solo, arenoso, Arenito Caiuá.

INTRODUÇÃO

O armazenamento de água no solo exerce influência no desenvolvimento radicular e rendimento da cana-de-açúcar (Viana, 2022), sendo fundamental sua obtenção durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

O Hydrus simula o fluxo de água no solo e também permite estimar os parâmetros das equações de retenção de água do solo (Simunek et al., 2009) utilizando funções de pedotransferência do programa Rosetta, desenvolvidos por Schaap et al. (2001). As funções de pedotransferência relacionam os atributos do solo facilmente mensuráveis (textura, teores de argila, silte e areia, e densidade do solo) com os parâmetros hidráulicos que descrevem a retenção de água no solo (θ_r , θ_s , α , n) e a condutividade hidráulica do solo saturado (K_s).

As funções de pedotransferência são uma alternativa ao método tradicional, devido a necessidade das amostras de solo indeformadas serem submetidas às tensões em mesa de tensão (– 6 e –10 kPa) e câmara de Richards (–33, –100, –500 e –1500 kPa), para determinar a relação entre o potencial matricial de água no solo e a umidade do solo, bem como obter os parâmetros da curva de retenção de água no solo.

Teve-se por objetivo no presente estudo avaliar o desempenho das funções de pedotransferência do programa Rosetta (“Rosetta - textura”, baseado na classe textural; e “Rosetta – teores”, baseado nos teores de argila, silte e areia com a densidade do solo), incorporado ao Hydrus 1D, na determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten-Mualem de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com cana-de-açúcar, na região Noroeste do Paraná, desenvolvido no Arenito Caiuá.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA)/SCA/UFPR. As análises foram realizadas com amostras de solo retiradas da Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar (PMGCA), pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR) e integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento Sucroenergético (RIDESA). O solo da Estação Experimental de Paranavaí é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018). A PMGCA está localizada à 22° 58’ Sul de latitude, 52° 28’ Oeste de longitude e 470 m de altitude média, no Município de Paranavaí, região Noroeste do Estado do Paraná. O clima da região, conforme classificação de Köppen é Cfa (clima subtropical), apresenta média anual da temperatura do ar entre 22,1 e 23,0 °C, e precipitação média anual entre 1400 e 1600 mm (Nitsche et al., 2019).

Para determinação dos atributos físico-hídricos do solo, coletou-se em Julho de 2019 amostras deformadas e indeformadas de solo em dez pontos representativos na área experimental, nas camadas entre 0,00-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. As análises foram realizadas nos Laboratórios de Física do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/UFPR, e no Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR), em Londrina-PR.

As amostras deformadas foram coletadas com trado calador, secas em estufa (40 °C), peneiradas em malha de 2 mm e armazenadas em sacos plásticos. Na sequência, foi feita a determinação da granulometria (argila, silte e areia; g kg⁻¹), com o método da pipeta. Também foi feita a separação da fração areia total em areia grossa (0,2 a 2 mm; g kg⁻¹) e fina (0,05 a 0,2 mm; g kg⁻¹), conforme metodologia descrita por EMBRAPA (2011).

As amostras de solo foram submetidas às tensões de – 6 e –10 kPa, em mesa de tensão, e –33, –100, –500 e –1500 kPa, em câmara de Richards. Após cada potencial matricial aplicado, as amostras foram secas em estufa (105 °C; 48 h) para determinação da densidade do solo e pontos de umidade volumétrica (θ), conforme as metodologias descritas por EMBRAPA (2011).

Os pontos “ θ vs ψ_m ” e a umidade na saturação foram utilizados para determinar a curva de retenção da água no solo (CRAS), ajustada com o modelo de van Genuchten (1980), utilizando a restrição de Mualem (Equação 1). O ajustamento dos parâmetros do modelo de van Genuchten e estimativa da umidade volumétrica no solo (θ) foram realizados com a função *nls* do Software R (Versão 4.0.0).

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

Sendo: Θ – saturação efetiva (adimensional); $\theta(\psi_m)$ – umidade volumétrica no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_r – umidade volumétrica residual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_s – umidade volumétrica do solo na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ψ_m – potencial matricial da água no solo (cm ou hPa); α – valor de entrada de ar (cm^{-1}); n – parâmetro empírico do ajuste (adimensional); e, m – restrição de Mualem:

$$m = 1 - (1/n).$$

Foram utilizadas as funções de pedotransferência “Rosetta – textura” (baseada na classe textural) e “Rosetta - teores” (baseada nos teores de argila, silte e areia, e densidade do solo), do programa Rosetta, incorporado ao Hydrus 1D (Simunek et al., 2009). Os atributos físicos do solo analisado encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos das camadas do Latossolo Vermelho distrófico da Estação Experimental do PMGCA, cultivada com cana-de-açúcar.

Camada m	----- Areia -----			Silte	Argila	Densidade do solo (kg m^{-3})
	Total	Grossa	Fina (g kg^{-1})			
0,00-0,20	837,600a	769,700a	120,680b	67,600a	94,800b	1582a
0,20-0,40	792,700b	685,125b	134,545b	64,300b	143,000a	1690a
0,40-0,60	784,900b	627,250b	167,175a	65,400b	149,700a	1653a
Média	805,067	694,025	140,080	65,767	129,166	1642
Var ⁽¹⁾	571,075	3622,876	402,205	1,993	633,193	10584
sd ⁽²⁾	23,897	60,190	20,055	1,412	25,163	102,88
CV ⁽³⁾	2,968%	8,673%	14,244%	2,147%	19,481%	6,266%

⁽¹⁾ Var, variância (unidade da variável); ⁽²⁾ sd, desvio padrão (unidade da variável); ⁽³⁾ CV, coeficiente de variação (%). Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Fonte: Viana, 2022.

A qualidade das associações entre os valores observados (Y) de umidade volumétrica do solo e estimados com as funções de pedotransferência “Rosetta – textura” e “Rosetta - teores”, foram verificadas com os indicadores estatísticos “d” de Willmott e coeficientes de determinação (R^2):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{e_i} - \theta_{o_i})^2}{\sum_{i=1}^n (|\theta_{e_i} - \bar{\theta}_o| + |\theta_{o_i} - \bar{\theta}_o|)^2} \right]$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n [(\theta_{o_i} - \bar{\theta}_o) \cdot (\theta_{e_i} - \bar{\theta}_e)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_{o_i} - \bar{\theta}_o)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\theta_{e_i} - \bar{\theta}_e)^2}} \right)^2$$

Sendo: d – índice de concordância de Willmott (adimensional); R^2 – coeficiente de determinação (adimensional); θ_{o_i} – umidade volumétrica do solo observada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{e_i} – umidade volumétrica do solo estimada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); $\bar{\theta}_o$ – média da umidade volumétrica do solo observada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); $\bar{\theta}_e$ – média da umidade volumétrica do solo observada ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo analisado encontra-se nas classes texturais arenosa, na camada 0,0-0,20 m, e franco arenosa, nas camadas 0,20-0,40 m e 0,40-0,60 m (Viana, 2022), característica na Formação de arenito Paranaíba, na região noroeste do Paraná (Fidalski et al., 2013). Essa informação é importante como entrada, para analisar as curvas de retenção de água no solo ajustadas com o modelo de van Genuchten e funções de pedotransferência (“Rosetta – textura” e “Rosetta – teores”), assim como os parâmetros do modelo de van Genuchten (Tabela 2 e Figura 1).

Tabela 2. Parâmetros do modelo de van Genuchten.

Camada (m)	0,00-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
----- Estimado com os dados observados -----			
θ_r ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,074	0,120	0,127
θ_s ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,331	0,316	0,329
α (cm^{-1})	0,024	0,019	0,0181
n (adimensional)	3,104	3,214	3,171
----- Estimado com “Rosetta – textura” -----			
θ_r ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,053	0,049	0,049
θ_s ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,375	0,390	0,390
α (cm^{-1})	0,035	0,035	0,035
n (adimensional)	3,180	1,747	1,747
----- Estimado com “Rosetta – teores” (areia, silte, argila e densidade do solo) -----			
θ_r ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,051	0,052	0,054
θ_s ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,371	0,343	0,354
α (cm^{-1})	0,033	0,032	0,031
n (adimensional)	1,862	1,496	1,495

θ_s e θ_r – umidade volumétrica do solo na saturação e residual, respectivamente; α e n – parâmetros do modelo de van Genuchten.

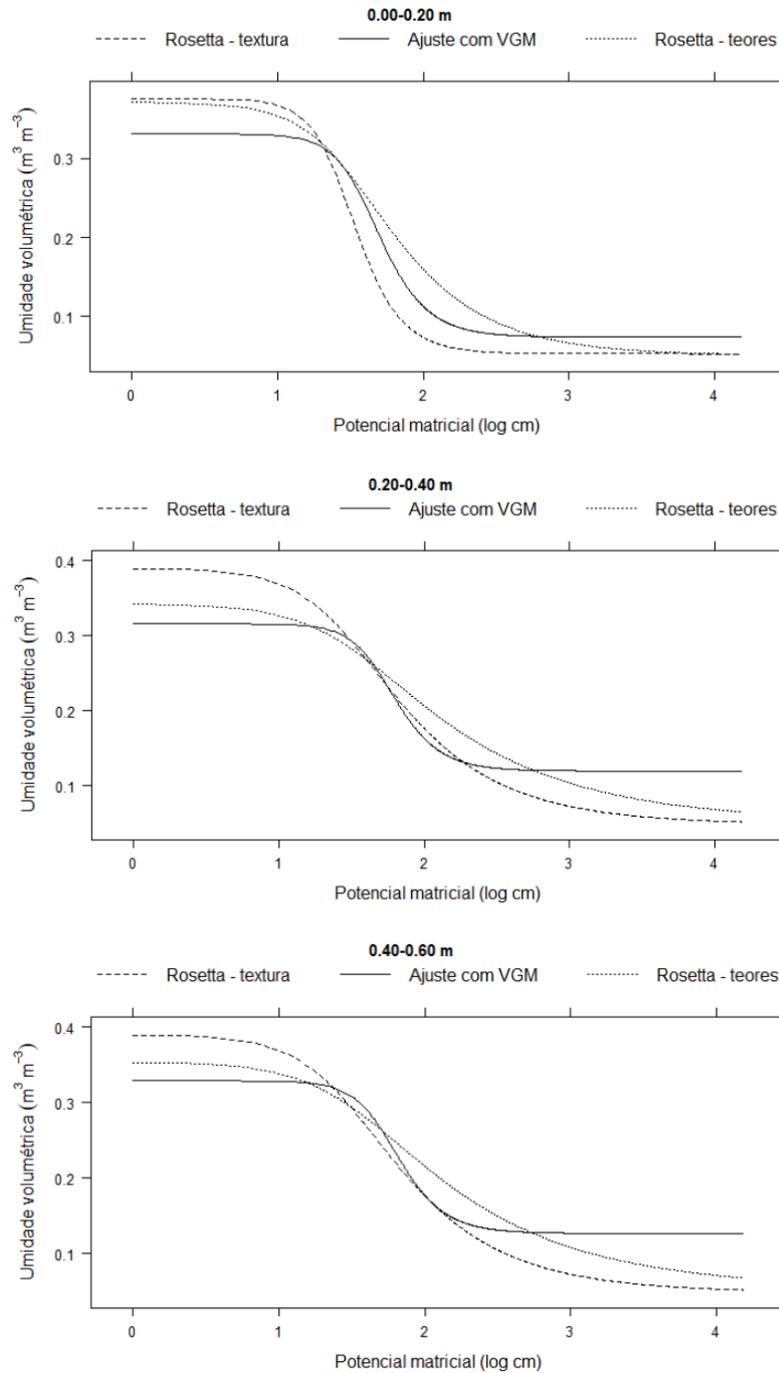


Figura 1. Curva de retenção de água no solo desenvolvido no Arenito Caiuá, Paranaíba-PR, ajuste com o modelo de van Genuchten e funções de pedotransferência (“Rosetta – textura” e “Rosetta – teores”).

Apenas a estimativa do parâmetro “n” com a função de pedotransferência “Rosetta – textura” (Tabela 2) apresentou magnitude dentro no intervalo de confiança do parâmetro ajustado ao modelo de van Genuchten (Tabela 3), com os dados observados de umidade do solo e potencial matricial.

Tabela 3. Intervalo de confiança dos parâmetros do modelo van Genuchten, ajustados com os dados observados.

Parâmetros	0,00-0,20 m	0,20-0,40 m	0,40-0,60 m
θ_r ($m^3 m^{-3}$)	[0,068; 0,079]	[0,112; 0,129]	[0,121; 0,133]
θ_s ($m^3 m^{-3}$)	[0,321; 0,341]	[0,300; 0,332]	[0,318; 0,340]
α (cm^{-1})	[0,020; 0,028]	[0,015; 0,023]	[0,016; 0,021]
n (adimensional)	[2,401; 3,806]	[2,097; 4,331]	[2,452; 3,890]

θ_s e θ_r – umidade volumétrica do solo na saturação e residual, respectivamente; α e n – parâmetros do modelo de van Genuchten.

Os índices estatísticos entre a umidade volumétrica do solo observada (θ_o ; $m^3 m^{-3}$) e estimada (θ_e ; $m^3 m^{-3}$) indicaram que os ajustes com as funções de pedotransferência foram insatisfatórios para as camadas analisadas (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de concordância (d, adimensional) e coeficiente de determinação (R^2 , adimensional) das estimativas da umidade do solo, com as funções de pedotransferência (“Rosetta – textura” e “Rosetta – teores”).

Índice	----- Camada -----					
	---- 0,00-0,20 m ----		---- 0,20-0,40 m ----		---- 0,40-0,60 m ----	
	Rosetta - textura	Rosetta - teores	Rosetta - textura	Rosetta - teores	Rosetta - textura	Rosetta - teores
d (ad.)	0,61	0,70	0,18	0,26	0,16	0,26
R^2 (ad.)	0,95	0,82	0,79	0,55	0,80	0,56

A simplicidade das funções de pedotransferência analisadas e as especificidades do solo arenoso contribuíram para os resultados insatisfatório. Sugere-se incluir nas funções de pedotransferência o fracionamento dos teores de areia, em grossa e fina, devido a maior área superficial específica da areia fina ($318 cm^2 g^{-1}$) em relação a areia grossa ($79 cm^2 g^{-1}$) (Fidalski et al., 2013; Giasson, 2017), influenciando na retenção de água no solo (Fidalski et al., 2013; Viana, 2022).

Os maiores teores de areia grossa interferem no aumento da condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado, diâmetro máximo dos poros e macroporosidade, bem como na redução da microporosidade. A maior proporção de areia fina reduz a condutividade e aumenta a retenção de água, principalmente em camadas mais profundas (0,40-0,60 m) (Viana, 2022).

Outro fator que pode ter interferido no resultado obtido foram as amostras de solo utilizadas para obtenção das funções de pedotransferência. Pois o programa Rosetta foi desenvolvido e baseou-se, em sua maioria, nos solos da América do Norte e Europa, desenvolvidos em clima temperado e subtropicais (Schaap et al., 2001).

CONCLUSÕES

Os parâmetros da curva de retenção de água no solo obtidos com as funções de pedotransferência “Rosetta – textura” e “Rosetta – teores” apresentam desempenho insatisfatório ($0,16 < d < 0,70$ e $0,55 < R^2 < 0,95$) para estimativa da umidade volumétrica do solo.

A simplicidade das funções de pedotransferência analisadas e as especificidades do solo arenoso contribuíram para os resultados insatisfatório. Sugere-se incluir nas funções de pedotransferência o fracionamento dos teores de areia, em grossa e fina, devido a interferência na retenção de água no solo.

REFERÊNCIAS

- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; AULER, P. A. M. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das Formações Caiuá e Paranaíba. Revista Brasileira Ciência de Solo, v.37, p.613-621, 2013.
- GIASSON, E. Introdução ao estudo dos solos. In: Meurer E. J.; Editor. Fundamentos de Química do Solo. 6ª. Ed. Porto Alegre: 2017. p.11-28. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. Atlas Climático do Estado do Paraná. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>, 2020.

SCHAAP, M.G.; LEIJ, F.J.; VAN GENUCHTEN, M.Th. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal Hydrology*, 251:163-176, 2001.

SIMUNEK, J.; SEJNA, M.; SAIATO, H.; SAKAI, M.; van GENUCHTEN, M. T. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media: Version 4.08. University of California Riverside, Riverside, 2009. 330p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, v.44, n.5, p.892-898, 1980.

VIANA, J. L. Atributos físico-hídricos do solo, modelagem do desenvolvimento radicular e rendimento da cana-de-açúcar nas condições edafoclimáticas da região Noroeste do Paraná. (Tese) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.