



Análise de três critérios de parametrização do modelo de van-Genuchten para predição de dados experimentais de retenção de água em um Latossolo Vermelho Amarelo⁽¹⁾.

Alessandra Calegari da Silva⁽²⁾; Robson André Armindo⁽³⁾; Alexsandro dos Santos Brito⁽⁴⁾; Marta Vasconcelos Ottoni⁽⁵⁾; Eduardo Teixeira da Silva⁽³⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. ⁽²⁾ Mestranda do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Universidade Federal do Paraná - UFPR; Curitiba, Paraná; engalecalegari@gmail.com; ⁽³⁾ Professor; Universidade Federal do Paraná – UFPR. ⁽⁴⁾ Professor Adjunto; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - IFBA. ⁽⁵⁾ Pesquisadora Serviço Geológico do Brasil – CPRM-RJ.

RESUMO: A curva de retenção (CRA) apresenta grande importância nos estudos que envolvem a dinâmica da água na zona vadosa do solo. Assim, o objetivo neste trabalho foi avaliar o desempenho dos métodos de ajuste dos parâmetros do modelo de van-Genuchten (1980) que descrevem a CRA, para um Latossolo Vermelho Amarelo. A coleta das amostras indeformadas de solo foi realizada em uma área experimental da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), no município de Piracicaba, São Paulo, Brasil. Nessa área, de 30 x 50 m, estabeleceu-se uma malha de coleta regular de 5 x 5 m, totalizando 60 pontos amostrais de um solo arenoso, da camada de 0,75-0,85 m. Em laboratório, determinaram-se a umidade volumétrica (θ) e o potencial matricial (Ψ_m) provenientes das metodologias da mesa de tensão (baixas tensões), câmara de Richards (altas tensões) para as 60 amostras. No ajuste da CRA foi utilizado o modelo van-Genuchten (1980) adotando-se três critérios de regressão não linear dessa equação a fim de se obter os menores erros sistemáticos nas regressões. Os resultados mostraram que a adoção do critério (C1), utilizando todos os parâmetros da CRA na regressão, apresentou maior exatidão (RMSE= 0,0090 m³ m⁻³) e precisão ($r = 0,9975$) no ajuste da CRA pelo modelo de van-Genuchten.

Termos de indexação: regressão não linear, parâmetros da curva de retenção.

INTRODUÇÃO

Estudos da dinâmica da água na zona vadosa do solo, apresenta grande importância no entendimento das questões ambientais, tais como disponibilidade de água no solo para as culturas, infiltração, drenagem e movimento de fluidos e solutos no solo. No entanto, para o entendimento desses processos, o conhecimento do conteúdo de água e dos seus

potenciais exercidos na matriz do solo torna-se importante. Essa relação pode ser descrita pela curva de retenção de água no solo (CRA), quantificadas por modelos como de Brooks-Corey (1964); van-Genuchten (1980); Durner (1994) e Kosugi (1999), dentre os quais destaca-se o de van-Genuchten pela ampla utilização por cientistas do solo.

Sabe-se que esses modelos possuem embasamento teórico, porém com parâmetros empíricos independentes. Prevedello & Armindo (2015) descrevem que esses parâmetros podem ser simultaneamente conhecidos pela aplicação da técnica dos mínimos quadrados dos desvios para ajuste das regressões não lineares.

Essa técnica baseia-se na soma total dos quadrados dos desvios entre os valores experimentais da CRA e os descritos pelo modelo ajustado, buscando-se minimizar a soma dos quadrados dos desvios obtidos.

Neste trabalho, teve-se por objetivo avaliar três opções de parametrização do modelo de van-Genuchten (1980), que descreve a CRA, para um Latossolo Vermelho Amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Setor de Ciências Agrárias (SCA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no campus de Curitiba-PR.

Sessenta pares de valores observados de umidade volumétrica (θ) e potencial matricial (Ψ_m) de um solo arenoso foram obtidos a partir do experimento de Brito et al. (2011). Para cada ponto amostral, utilizaram-se pares de (θ, Ψ_m), variando de 0 à 100 hPa, a cada 10 hPa, e nas demais tensões de 300, 500, 700 e 1000 hPa. Posteriormente os pares de valores (θ, Ψ_m) foram ajustados ao modelo de van-Genuchten (1980), eq.(1), pela técnica da minimização da soma dos quadrados dos desvios, conforme Santra & Das (2008).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\lambda |\Psi_m|)^n\right]^m} \quad (1)$$

em que:

θ : umidade volumétrica do solo, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; θ_s e θ_r : umidade volumétrica do solo na saturação e residual, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente; Ψ_m : potencial matricial, hPa; λ (hPa^{-1}), n e m : parâmetros de ajuste do modelo.

Três critérios de parametrização da equação de van-Genuchten (VG) foram analisadas e suas performances de ajuste da CRA comparadas:

- 1) Critério (C1): Ajuste dos parâmetros (θ_s , θ_r , λ , n , m) simultaneamente sem restrições.
- 2) Critério (C2): Ajuste dos parâmetros (θ_s , θ_r , λ , n), utilizando a restrição de Mualem (1976) para o parâmetro $m = (1-1/n)$.
- 3) Critério (C3): Ajuste dos parâmetros (θ_r , λ , n), utilizando a restrição de Mualem (1976) para o parâmetro $m = (1-1/n)$ e fixando-se θ_s ao valor correspondente à porosidade total (α), representando todo espaço poroso a ser preenchido por água.

Os parâmetros da eq.(1) nos três estudos de casos aqui avaliados foram ajustados pela função do programa de planilha EXCEL, respeitando algumas restrições nos seus valores: m , n , $\lambda > 0$, $\theta_r > 0$, e em C1 e C2 $0 < m < 1$. Os valores iniciais desses parâmetros foram definidos segundo seu significado físico.

Análise estatística

A fim de avaliar erros sistemáticos de ajuste dos parâmetros da eq.(1) na predição da curva de retenção de água nos pontos amostrais estudados, valeu-se do coeficiente de correlação de Pearson (r), eq.(2), e da *root mean square error* (RMSE), eq.(3).

Yi et al. (2013) adotaram essas metodologias de análise estatísticas em suas pesquisas, para verificar o quanto os dados estimados se aproximaram dos dados observados.

$$r = \sqrt{R^2} \quad (2)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{\text{esti}} - X_{\text{obsi}})^2 / n} \quad (3)$$

em que:

n : número de amostras; Y_{esti} : i -ésima variável estimada; X_{obsi} : i -ésima variável observada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os resultados descritos na (Tabela 1) nota-se uma variabilidade nos valores dos parâmetros entre as opções analisadas, com maior discrepância nos parâmetros θ_r , λ , n e m , em especial, entre os critérios 1 e 3, evidenciando que o critério de ajuste deve ser avaliado, a fim de se obter o menor erro sistemático na determinação da CRA.

Tabela 1 – Descrição dos valores médios para os parâmetros da equação de van-Genuchten, nas três critérios de parametrização analisadas.

Parâmetros	Critérios de parametrização		
	C1	C2	C3
θ_s	0,4306	0,4208	0,4382
θ_r	0,1344	0,1055	0,0884
λ	0,0018	0,0403	0,0506
n	0,9788	1,7768	1,5976
m	7,9988	0,4372	0,3741

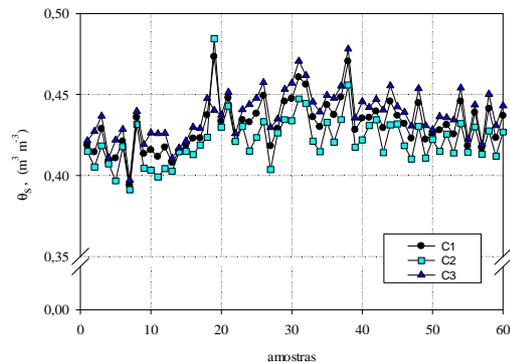


Figura 1 - Distribuição dos valores de θ_s , para os três critérios de parametrização da eq.(1) nos sessenta pontos amostrais.

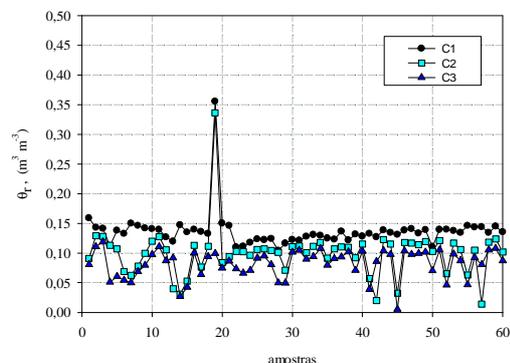


Figura 2 - Distribuição dos valores de θ_r , para os três critérios de parametrização da eq.(1) nos sessenta pontos amostrais.

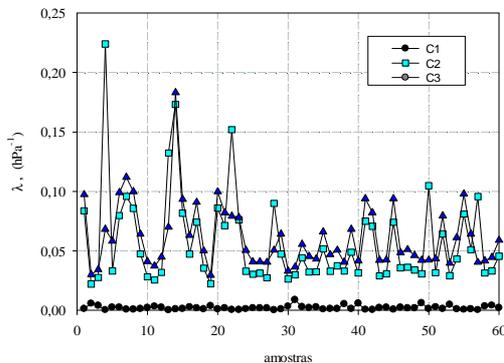


Figura 3 - Distribuição dos valores de λ , para os três critérios de parametrização da eq.(1) nos sessenta pontos amostrais.

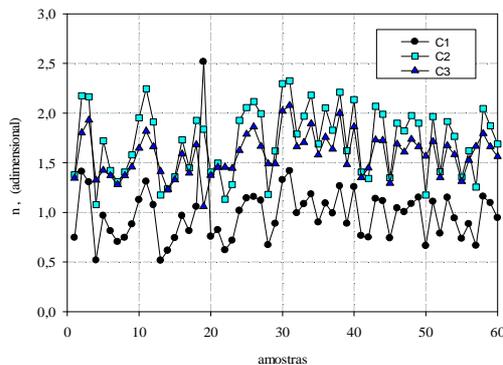


Figura 4 - Distribuição dos valores de n , para os três critérios de parametrização da eq.(1) nos sessenta pontos amostrais.

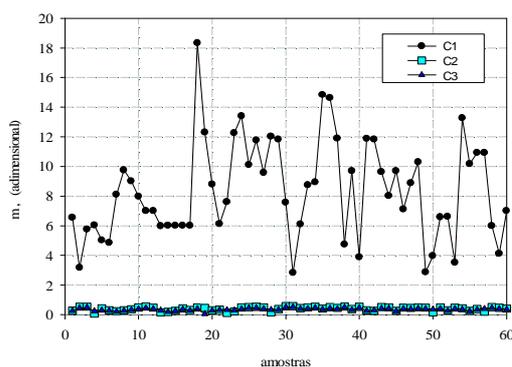


Figura 5 - Distribuição dos valores de m , para os três critérios de parametrização da eq.(1) nos sessenta pontos amostrais.

Nota-se nas (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5) uma variabilidade dos valores dos parâmetros ao longo dos sessenta pontos amostrais nos três estudos de casos avaliados (C1, C2, C3). Entretanto, para o parâmetro λ no C1, houve menores desvios em torno de seu valor médio para todos os pontos amostrais. O mesmo comportamento foi observado

para o parâmetro m em C2 e C3.

Para os parâmetros n e m (Figura 4 e 5) observa-se também uma grande divergência nos seus valores no C1 ao longo dos sessenta pontos amostrais, devido ao grau de liberdade imposto a esses parâmetros na regressão não linear por mínimos quadrados.

Devido à dificuldade de se encontrar o ajuste mais eficiente, Dourado Neto et al. (2001) desenvolveram um programa computacional (RETC) com 12 opções de modelos analíticos presentes na literatura, para descrever a CRA. Os autores descrevem que vários critérios devem ser considerados no ajuste dos parâmetros de modelos empíricos que descrevem a CRA. Entretanto entende-se que o parâmetro θ deve ser positivo, por representar fisicamente a umidade residual.

Dentre os critérios a serem considerados segundo Dourado Neto et al. (2001), são os valores iniciais inseridos para os parâmetros, para minimizar a soma dos quadrados dos desvios, devem ser fisicamente coerentes para que o método numérico de regressão não linear convirja em valores coerentes.

Entre os três estudos de casos de parametrização da eq.(1), o estudo de caso C1 apresentou os menores valores de RMSE, (Tabela 2).

Tabela 2 – Descrição dos valores médios para os erros sistemáticos avaliados para os três critérios estudos de casos de parametrização da eq.(1).

Estatística	Parametrizações do modelo de VG		
	C1	C2	C3
RMSE	0,0090	0,0118	0,0129
r	0,9975	0,9960	0,9953

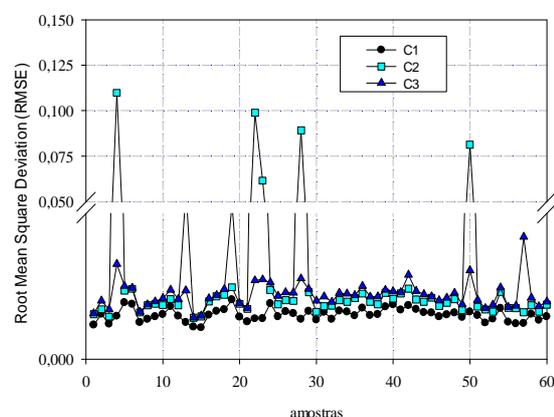


Figura 6 - Distribuição dos valores do RMSE, para os estudos de casos de parametrização da eq.(1) nos sessenta pontos amostrais.

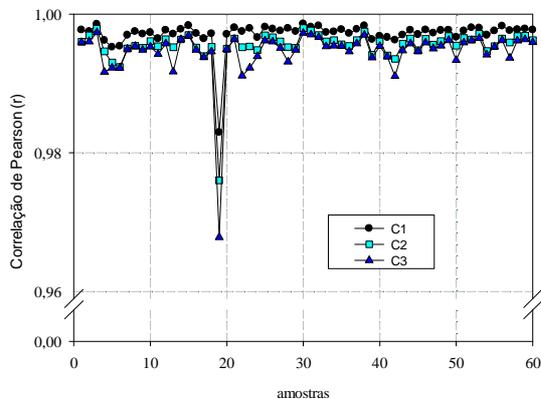


Figura 7 - Distribuição dos valores do r , para os estudos de casos de parametrização da eq.(1) nos sessenta pontos amostrais.

Já para os valores do coeficiente de Pearson, indicador da precisão do modelo ajustado aos dados experimentais, os três critérios avaliados apresentaram (r) acima de 99%.

Na (**Figura 6**) é apresentada a distribuição do RMSE ao longo dos sessenta pontos amostrais para as três opções de parametrização avaliadas. De acordo com essa (**Figura 6**) nota-se que os maiores erros ocorreram para o estudo de caso C3, com exceção de algumas amostras, onde os erros do caso C2 foram gritantemente superiores em relação aos erros dos demais casos (C1 e C3).

Avaliando a distribuição da precisão de estimativa de CRA nos pontos amostrais (**Figura 7**), percebe-se, de modo geral, que os valores do coeficiente de Pearson se aproximam de 1 para todos os estudos de casos avaliados e ao longo de todos os pontos amostrais, com exceção do ponto 19, onde há um decréscimo acentuado no valor de r seja em C1 como em C2 e C3. Essa redução de precisão na estimativa do CRA do ponto 19 pode estar associada à incapacidade da eq.(1) em representar os seus pontos experimentais de retenção de água (θ, Ψ_m).

Ressalta-se a grande divergência dos valores de n e m no C1, devido ao grau de liberdade imposto a esses parâmetros na regressão não linear por mínimos quadrados.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a adoção do C1, utilizando todos os parâmetros na simulação foi o que apresentou maior exatidão e precisão nos ajustes da CRA, com menores erros sistemáticos (RMSE) e maior correlação (r). Entretanto, nesse critério, torna-se necessária a avaliação criteriosa dos valores dos parâmetros n e m obtidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

REFERÊNCIAS

- BRITO, A. S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O. estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 35:1939- 1948, 2011.
- BROOKS, R.H. & COREY, A.T. Hydraulic properties of porous media. *Hydrology Paper3*, Colorado State University, USA, 1964.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. & LOPES, P.P. Soil water retention curve. SWRC, version 3.00. Piracicaba, 2001.
- DURNER, W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure, *Journal of the American Water Resources Association*, 30:211-223, 1994.
- KOSUGI, K. Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties, *Water Resources Research*. 32:2697-2703, 1996.
- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12:513-522, 1976.
- PREVEDELLO & ARMINDO (2015). *Física do solo: com problemas resolvidos*. 2.ed. rev. e ampl. Curitiba. C. L. Prevedello, 2015. 474p.
- SANTRA, P. & DAS, B.S. Pedotransfer functions for soil hydraulic properties developed from a hilly watershed of Eastern India, *Geoderma*, 146:439-448, 2008.
- van-GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44:892-897, 1980.
- YI, X.; LI, G. & YIN, Y. Comparison of three methods to develop pedotransfer functions for the saturated water content and field water capacity in permafrost region. *Cold Regions Science and Technology* 88:10-16, 2013.

**XXXV Congresso
Brasileiro de
Ciência do Solo**

CENTRO DE CONVENÇÕES - NATAL / RN



**O SOLO E SUAS
MÚLTIPLAS FUNÇÕES**
02 a 07 DE AGOSTO DE 2015