

# ERROS NA ESTIMATIVA DE UMIDADES PELO MODELO DE VAN GENUCHTEN

Luciana Gomes Castro<sup>1</sup>; Aline de Holanda Nunes Maia<sup>2</sup>; Quirijn de Jong van Lier<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Cx.P. 9 - 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil, [castrolg@ig.com.br](mailto:castrolg@ig.com.br).

<sup>2</sup> Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente; Pós-graduanda do Departamento de Fitotecnia, ESALQ/USP, Cx.P.9 -13418-900, Piracicaba/SP, Brasil, [aline@esalq.usp.br](mailto:aline@esalq.usp.br).

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Cx.P. 9 - 13418-900, Piracicaba/SP, Brasil, Bolsista do CNPq, [qdvlier@esalq.usp.br](mailto:qdvlier@esalq.usp.br).

Palavras-chave: curva de retenção de água no solo, modelo de Van Genuchten

## Introdução

Entre as propriedades físicas do solo, a relação entre umidade e potencial matricial da água no solo, denominada de curva de retenção de água é de grande importância em estudos que envolvem a quantificação dos teores e do movimento da água no solo. Assim, o conhecimento da curva de retenção da água no solo é indispensável para a medição do teor de água através de tensiometria e para o cálculo da densidade de fluxo de água no solo através da equação de Darcy-Buckingham. A metodologia seguida para a obtenção da curva de retenção, normalmente, é a descrita em EMBRAPA (1979), onde amostras indeformadas de solo são submetidas, após saturação, a sucções num funil de placa porosa e a pressões numa câmara de pressão. A umidade correspondente a cada sucção ou pressão é determinada gravimetricamente. Vários autores discutiram problemas decorrentes da metodologia para a obtenção dessas umidades, tanto em relação às condições laboratoriais (MORAES et al., 1993) quanto à distribuição espacial dos locais de amostragem (MORAES & LIBARDI, 1993).

A curva de retenção é descrita normalmente na forma de uma equação empírica, cuja parametrização é feita por um ajuste não linear, minimizando a soma dos quadrados dos desvios entre os pontos observados e estimados pela equação. Entre as equações disponíveis para este fim, a equação de VAN GENUCHTEN (1980) que apresenta cinco parâmetros empíricos é uma das mais empregadas.

Entre seus parâmetros empíricos, o significado físico do primeiro, a umidade de saturação ( $\theta_s, m^3 m^{-3}$ ) é o menos discutível, tratando-se da umidade do solo correspondente ao potencial matricial zero. Seu valor pode ser determinado gravimetricamente pela massa da amostra saturada, calculada em função das densidades do solo e dos sólidos ou estimado por regressão em função da curva de retenção.

O segundo parâmetro, a umidade residual ( $\theta_r, m^3 m^{-3}$ ) refere-se à umidade da amostra num potencial matricial infinitesimalmente negativo. A rigor, este valor não pode ser determinado experimentalmente, no entanto, sugere-se muitas vezes utilizar o valor da umidade do solo “muito seco”, no potencial matricial de -1500 kPa, por exemplo (Van Genuchten, 1980). No entanto, Ross et al. (1991) defendem que seu valor deveria ser negativo, uma vez que a amostra, mesmo quando seca em estufa (umidade de referência, chamada zero), ainda contém água.

Dos três demais parâmetros ( $\alpha, m$  e  $n$ ), o primeiro é tido, às vezes, como o recíproco da pressão de entrada de ar; o  $m$  e o  $n$  não têm significado físico aparente e são tidos, às vezes, como dependentes entre si para estimar a condutividade hidráulica relativa pelo modelo de Burdine (1953) onde  $m = 1 - 2/n$  ou pelo modelo de Mualem

(1976) onde  $m = 1 - 1/n$ . Correlações empíricas entre o parâmetro  $n$  e propriedades do solo foram feitas na forma de funções de pedotransferência por alguns autores (Tormena et al., 1999, Van Alphen et al., 2001).

Como a equação de Van Genuchten possui quatro (considerando dependência) ou cinco (desconsiderando dependência) parâmetros, levanta-se a hipótese que a alteração num parâmetro poderia ser compensada por outra resultando numa curva dentro do mesmo intervalo de confiança. Se comprovada essa hipótese, ter-se-ia demonstrado que os parâmetros em si não podem possuir significado físico. Analisar essa questão foi o objetivo do estudo relatado no presente trabalho.

## Material e métodos

A equação proposta por Van Genuchten (1980) tem o seguinte formato:

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

onde  $\psi_m$  é o potencial matricial (kPa),  $\theta$  é a umidade volumétrica ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e  $\theta_r$  (umidade residual,  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\theta_s$  (umidade de saturação,  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $\alpha$  ( $\text{kPa}^{-1}$ ),  $m$  e  $n$  são os parâmetros empíricos da equação.

Foram gerados dados de umidade volumétrica do solo correspondentes aos potenciais matriciais 0,49, 0,98, 1,96, 3,92, 5,89, 7,85, 10, 20, 33, 100, 500 e 1500 kPa com  $\alpha = 0,15 \text{ kPa}^{-1}$ ,  $n = 2,0$ ,  $\theta_r = 0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , e  $\theta_s = 0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , simulando-se dois diferentes valores do desvios padrão dos resíduos: 0,01 e 0,02  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Essa simulação foi realizada da seguinte forma:

- Cálculo dos valores de umidade correspondentes a cada potencial (total de 12), utilizando o modelo de Van Genuchten, considerando os valores dos parâmetros.
- Simulação de uma amostra de resíduos (total de 12) de uma distribuição normal com média zero e desvio padrão igual ao valor de S estabelecido para o experimento. Os erros foram simulados utilizando a função RANNOR do SAS System (SAS, 1998);
- Obtenção dos valores simulados de umidade (total de 12) somando-se a cada valor obtido no item 'a', o resíduo correspondente obtido no item 'b'.

Para cada cenário foram simulados 100 conjuntos de valores de umidade.

A seguir, ajustou-se a equação 1 aos valores de umidade, utilizando como valores iniciais em cada cenário os correspondentes valores de  $\alpha$  e  $n$  e os valores de  $\theta_r$  e  $\theta_s$  comuns a todos os cenários. Os erros aleatórios ( $\epsilon_i$ ) associados a cada valor simulado de umidade foram considerados variáveis aleatórias não correlacionadas ( $\text{Cov}(\epsilon_i, \epsilon_j) = 0$ ) para  $i \neq j$ ) com distribuição normal e mesma variância ( $\epsilon_i \sim n(0, \sigma)$ , para todo  $i=1,2,\dots,12$ ).

Os parâmetros do modelo foram estimados pelo método de quadrados mínimos não lineares; utilizando o NLIN Procedure do SAS System. A minimização da soma de quadrados de resíduos foi feita através do método iterativo 'DUD'.

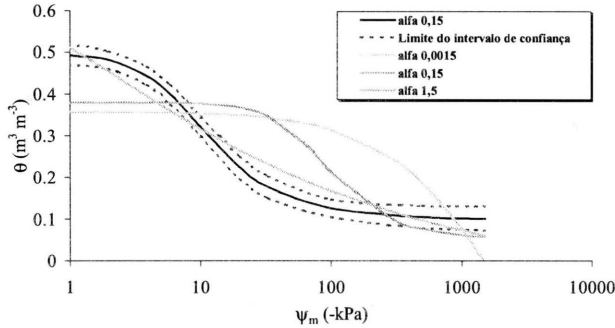
Foram calculados intervalos de confiança assintóticos de 95 % para os valores de umidade preditos, e assim obtiveram-se os 100 valores de semi-amplitude dos intervalos de confiança para cada estimativa em cada cenário.

Verificou-se, em seguida, a possibilidade de se obter, após alteração do valor de  $\alpha$  (multiplicando seu valor original por 0,01, 0,1, 10 ou 100), curvas descritas pela

Equação 1, dentro do intervalo de confiança, considerando  $m$  dependente ( $m=1-1/n$ ) ou independente de  $n$ .

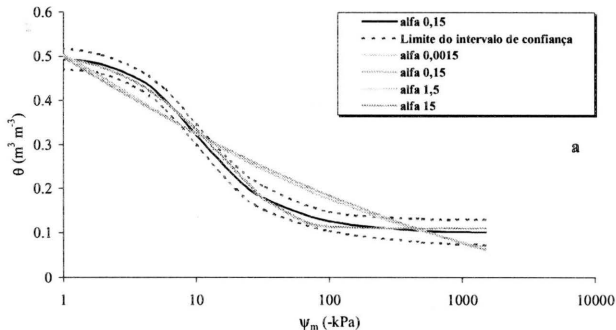
## Resultados e Discussão

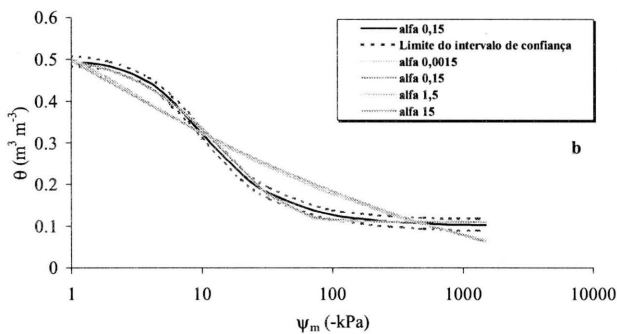
Observou-se que as alterações provocadas aos valores de  $\alpha$  causaram grandes alterações nos valores de umidade estimados pelo modelo, por toda a faixa de potenciais. (Figura 1). Para  $\alpha=15$  não foi possível realizar a regressão, pois não houve convergência.



**Figura 1.** Umidade volumétrica ( $\theta$ ) em função do potencial matricial ( $\psi_m$ ) e os limites do intervalo de confiança para  $\alpha=0,15$ , assim como as curvas ajustadas para três valores de  $\alpha$  (0,0015, 0,015 e 1,5) para o maior erro simulado ( $S=0,02$ ), considerando  $m$  dependente de  $n$ .

Entretanto, quando considerada a independência dos valores de  $m$  e  $n$ , os ajustes com  $\alpha$  alterados em 0,0015 e 0,015 ficaram totalmente dentro do limite do intervalo de confiança para  $S=0,02$ , obtido para a curva original ( $\alpha=0,15$ ), enquanto os cenários gerados por meio dos maiores valores de  $\alpha$  ficaram quase que totalmente fora do intervalo de confiança. Quando se atribuiu um erro um pouco menor ( $S=0,01$ ) aos valores da curva original, os cenários gerados com os menores valores de  $\alpha$  ainda permaneceram quase que totalmente dentro do intervalo (Figura 2).





**Figura 2.** Umidade volumétrica ( $\theta$ ) em função do potencial matricial ( $\psi_m$ ) e os limites do intervalo de confiança para  $\alpha$  0,15, assim como, as variações nos valores de  $\alpha$  (0,0015, 0,015, 1,5 e 15) para os desvios padrão dos resíduos ( $S=0,01$  (a) e 0,02 (b)), considerando  $m$  e  $n$  independentes.

## Conclusões

Pequenas alterações nos valores de  $\alpha$ , para  $m$  e  $n$  dependentes, provocam grandes alterações nos valores previstos pelas curvas ajustadas em relação a curva original, de maneira a ficarem fora do intervalo de confiança mesmo para grandes desvios padrão dos resíduos ( $S=0,02$ ). Desconsiderando dependência entre os parâmetros do modelo, as curvas podem ser ajustadas com valores de  $\alpha$  bastante variáveis (0,0015 a 0,15), dentro de um mesmo intervalo de confiança. Em função da conclusão 2, verificou-se que os parâmetros não possuem significados físicos quando ajustados independentemente.

## Literatura citada

- BURDINE, N.T. Relative permeability calculations from pore size distribution data. *Petrology transactions*, 198:71-77, 1953.
- EMBRAPA, Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. Variabilidade da água disponível de uma terra roxa estruturada latossólica. *Scientia Agricola*, 50:404-412, 1993.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L.; DOURADO NETO, D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. *Scientia Agricola*, 50:383-392, 1993.
- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12:513-522, 1976.
- ROSS, P.J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K.L. Equation for extending water-retention curves to dryness. *Soil Science Society of America Journal*, 1991.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil & Tillage Research*, 52:223-232, 1999.
- VAN ALPHEN, B.J.; BOOLTINK, H.W.G.; BOUMA, J. Combining pedotransfer functions with physical measurements to improve the estimation of soil hydraulic properties *Geoderma*, 103:133-147, 2001.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892-7, 1980.