PROGRAMA PARA CONFECÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO UTILIZANDO O MODELO DE GENUCHTEN

[1] DOURADO NETO, D.
[2] LIER, Q. DE J. V.
[3] BOTREL, T. A.
[4] LIBARDI, P. L.

RESUMO

Com o objetivo de determinar os parâmetros empíricos do modelo de GENUCHTEN (1980) para a confecção da curva de retenção da água no solo, elaborou-se um programa que permite confeccionar um número grande de curvas com a estimativa dos três parâmetros empíricos (com ou sem restrição). O arquivo de entrada de dados deve ser elaborado em ASCII contendo os pares de dados de umidade à base de volume (θ, cm^3/cm^3) e o módulo do potencial mátrico (ψ, cm de água). Os valores médios encontrados por GENUCHTEN (1980) foram utilizados no programa para dar início ao processo iterativo de estimativa dos parâmetros empíricos.

Palavras-chave: Curva de retenção. Modelo de GENUCHTEN.

----

1. Professor do Departamento de Agricultura - ESALQ/USP - Piracicaba - SP
2. Estudante de Pós-Graduação do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes. ESALQ/USP - Piracicaba - SP.
3. Professor do Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP - Piracicaba - SP.
4. Professor do Departamento de Física e Meteorologia - ESALQ/USP - Piracicaba - SP.

SOFTWARE FOR THE MANUFACTURING OF WATER-RETENTION CURVES OF SOILS USING THE MODEL GENUCHTEN

ABSTRACT

With the objective of determining the empirical parameters of the model proposed by GENUCHTEN (1980) in order to describe the water-retention curve of soils, a computer program was elaborated. This program allows the building of an unlimited number of curves, estimating the three empirical parameters (with or without restriction). The datafile for input must be presented in ASCII, containing the datapairs of soil-water content (θ, cm^3/cm^3) and the absolute value of the matric head (ψ, cm water). As initial values for the empirical parameters the mean values found by GENUCHTEN (1980) were used.

Key-words: water retention curve. Model of GENUCHTEN.

INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda da técnica de irrigação, especialmente por empresários que utilizam alto nível tecnológico, torna-se necessário o uso racional da água, a qual deve ser aplicada em tempo oportuno e na quantidade correta. Para a determinação do tempo de irrigação, em função da lâmina requerida, é necessário conhecer a umidade atual no exato instante da irrigação.

Para a precisa quantificação deste fornecimento de água às plantas é imprescindível conhecer a relação funcional entre a umidade do solo e o seu potencial mátrico na zona radicular das culturas. Essa relação é conhecida pelo nome de curva de retenção da água. Um dos primeiros pesquisadores a identificar essa relação foi GARDNER et alii (1922), através do tensiômetro com cápsula porosa.

Posteriormente HAINES (1930) desenvolveu um método simples de demonstrar essa relação, hoje conhecida como método do funil de placa porosa ou método de Haines. O aparelho de membrana de pressão conhecido como câmara de pressão de Richards foi descrito originalmente por RICHARDS (1941). Esses dois últimos equipamentos são, atualmente, muito utilizados em conjunto, nos laboratórios de física do solo, o primeiro, para valores de potencial mátrico de -100 a 0 cm de água, e o segundo, para valores de -15.000 a -100 cm de água.

Vários são os trabalhos que procuram ajustar essa curva de retenção. Atualmente, tem-se utilizado muito a equação de GENUCHTEN (1980) que propôs um modelo matemático empírico, em função do conhecimento do comportamento do fenômeno, utilizando como variável independente, o módulo do potencial mátrico por não possuir erro de estimativa nas medidas que utilizam o método de HAINES e a câmara de Richards, e como variável dependente, a umidade à base de volume.

O presente trabalho tem por objetivo fornecer um programa para determinar os parâmetros empíricos do modelo de GENUCHTEN (1980), minimizando a soma dos quadrados dos desvios residuais em relação a estimativa da umidade, para a confecção da curva de retenção da água no solo.

MODELO DE GENUCHTEN

Para a proposição do modelo matemático empírico, GENUCHTEN (1980) assumiu que:

i) quando: $\psi = 0 \Rightarrow \theta = \theta s$;

ii) a função $\theta(|\psi|)$ é estritamente decrescente, e assíntota ao valor correspondente à umidade residual (θr):

$$\lim_{|\psi| \to \infty} \theta = \theta r$$

iii) inexistência do ponto de inflexão:

$$\frac{d^2\theta}{d|\psi|^2} \neq 0, \ (\forall |\psi| \in \mathbb{R})$$

Sendo assim:

$$\theta i = \theta r + \frac{\theta s - \theta r}{[1 + (\alpha . |\psi_i|)^n]^m} + \delta i \qquad (1)$$

onde θi é o i-ésimo valor de umidade a base de volume (cm^3/cm^3) correspondente ao i-ésimo valor do módulo do potencial mátrico ($|\psi_i|$, cm de água); θr é a umidade residual (cm^3/cm^3); θs é a umidade de saturação (cm^3/cm^3); α (cm de água^{-1}), m e n são os parâmetros empíricos do modelo determinados através da análise de regressão não linear, e δi o i-ésimo erro associado à estimativa do i-ésimo valor de umidade.

O PROGRAMA

O programa foi desenvolvido usando o programa de regressão não linear proposto por BORATTO (1987) para fazer um número grande de regressões. Foi utilizada a linguagem de programação QuickBASIC.

A entrada de dados deve ser feita em ASCII numa matriz com o número de linhas correspondente ao número de pontos da curva de retenção, e o número de colunas correspondente ao número de curvas com que se deseja fazer a regressão (Tabela 1).

Utilizou-se o módulo do potencial mátrico como variável independente porque não possui erro de estimativa, ou seja, o mesmo é fixado através de um manômetro.

A umidade à base de volume (θ) é determinada utilizando o método gravimétrico e conhecendo a massa específica do solo (ρ_s):

$$\theta = u.\frac{\rho_s}{\rho_a} \qquad (2)$$

onde u é a umidade a base de massa (g/g), ρ_a a massa específica da água (g/cm^3) contida no solo. Recomenda-se utilizar balança com precisão de 0,01 gf.

A umidade de saturação (θs) é estimada pela seguinte expressão:

$$\theta s = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \qquad (3)$$

onde ρ é a massa específica das partículas (g/cm^3) constituintes do solo. Porém, quando não se conhece a massa específica das partículas, adota-se:

$$\theta s = \theta o \qquad (4)$$

onde θo é a umidade de saturação determinada em condições de laboratório, sem fazer vácuo na amostra utilizada. A umidade de saturação (θs) pode ainda ser determinada experimentalmente, em condições de laboratório, fazendo vácuo.

Assumiu-se como umidade residual (θr), a umidade correspondente ao potencial mátrico de -15.000 cm de água, usualmente adotado como o "ponto de murchamento permanente". Poder-se-ia estimá-la, colocando-a como mais um parâmetro empírico, ou assumi-la nula, ou ainda, assumi-la como sendo à umidade da terra fina seca ao ar.

Os parâmetros empíricos foram estimados minimizando a soma dos quadrados dos desvios em relação a umidade. Teoricamente, a condição de mínimo é assim determinada:

$$\beta_1 = \left.\frac{\partial SQD}{\partial \alpha}\right|_{m,n} = 0 \qquad (5)$$

$$\beta_2 = \left.\frac{\partial SQD}{\partial m}\right|_{\alpha,n} = 0 \qquad (6)$$

$$\beta_3 = \left.\frac{\partial SQD}{\partial n}\right|_{\alpha,m} = 0 \qquad (7)$$

$$\left.\frac{\partial^2 SQD}{\partial \alpha^2}\right|_{m,n} > 0 \qquad (8)$$

$$\left.\frac{\partial^2 SQD}{\partial m^2}\right|_{\alpha,n} > 0 \qquad (9)$$

$$\left.\frac{\partial^2 SQD}{\partial n^2}\right|_{\alpha,m} > 0 \qquad (10)$$

sendo que:

$$SQD = \sum_{i=1}^{k} (\theta i - \hat{\theta} i)^2 \qquad (11)$$

onde SQD é a soma dos quadrados dos erros associados a estimativa dos k valores de umidade.

Para a estimativa do parâmetro empírico m com restrição, utilizou-se a seguinte expressão:

$$m = 1 - 1/n \qquad (12)$$

Os parâmetros são estimados pelo método iterativo de Newton-Raphson utilizando o procedimento proposto por BORATTO (1987) para a resolução do sistema de equações gerado pelas expressões 5, 6 e 7:

$$\begin{bmatrix}\alpha_{j+1}\\ m_{j+1}\\ n_{j+1}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\alpha_j\\ m_j\\ n_j\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\partial\beta_1/\partial\alpha & & \\ \partial\beta_1/\partial m & \partial\beta_2/\partial m & \\ \partial\beta_1/\partial n & \partial\beta_2/\partial n & \partial\beta_3/\partial n\end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\beta_1\\ \beta_2\\ \beta_3\end{bmatrix} \quad (13)$$

Os valores são estimados quando:

$$\begin{bmatrix}\alpha_{j+1}\\ m_{j+1}\\ n_{j+1}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\alpha_j\\ m_j\\ n_j\end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix}\gamma\alpha\\ \gamma m\\ \gamma n\end{bmatrix} \quad (14)$$

sendo que no programa foi utilizado o seguinte critério de estimativa dos parâmetros:

$$SQD_{j+1} - SQD_j \leq 10^{-7} \quad (15)$$

onde $\gamma\alpha$, γm e γn são os erros mínimos aceitos, associados aos parâmetros empíricos α, m e n, respectivamente. Utilizaram-se como valores iniciais os valores médios encontrados por GENUCHTEN (1980), os quais podem ser alterados pelo operador. O número de iterações é dependente do erro mínimo aceito. Adotou-se um erro de 10^{-7} para a soma dos quadrados dos desvios.

O coeficiente de ajuste (c.a) é calculado utilizando a seguinte expressão:

$$c.a. = \frac{SQ_{Reg}}{SQ_{Tot}} \quad (16)$$

$$SQ_{Reg} = \sum_{i=1}^{k} (\hat{\theta}_i - \bar{\theta})^2 \quad (17)$$

$$SQ_{Tot} = \sum_{i=1}^{k} (\theta_i - \bar{\theta})^2 \quad (18)$$

onde SQ_{Reg} é a soma dos quadrados da regressão referente à soma dos quadrados dos desvios entre os k valores estimados e o valor médio

de umidade; e SQ_{Tot} é a soma dos quadrados dos desvios entre os k valores medidos e o valor médio de umidade.

O arquivo de saída de dados é criado em ASCII com extensão [.OUT], a qual pode ser alterada, possuindo os seguintes parâmetros: α, m, n, umidade residual (θr), umidade de saturação (θs), valores da umidade (θin) e do potencial mátrico (ψ in) correspondentes ao ponto de inflexão da curva de retenção (utilizando o log do módulo do potencial mátrico como variável dependente, e a umidade a base de volume como variável independente), coeficiente de ajuste (c.a.), número de iterações e os valores observados e calculados de umidade (Tabela 2).

O programa fornece a opção da representação gráfica em escala decimal [$\theta(|\psi|)$] e semi-log [pF(θ)].

CONCLUSÃO

Pelo exposto, verifica-se que a utilização de recursos computacionais com um modelo matemático empírico, viabiliza a elaboração de um grande número de regressões, com precisão, para a confecção de curvas de retenção com finalidades diversas.

Devido à grande extensão do programa não será apresentada a listagem. A listagem completa e a cópia do programa, em disquete podem ser obtidas mediante solicitação aos autores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORATTO, F. Basic para engenheiros e cientistas. Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1987. 135p.

GARDNER, W.; ISRAELSEN, O.W.; EDEFLESEN, N.E.; CLYDE, H. The capillary potential function and its relation to irrigation practice. Physiological Review. sér.2, Bethesda, 20: 196, 1922.

GENUCHTEN, M. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal, Madison, 41: 892-8, 1980.

HAINES, W. B. Studies in the physical properties of soil. V. The hystereses effect in capillary properties and the mode of moisture associated therewith. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 20: 97-116, 1930.

RICHARDS, L.A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. Soil Science, Baltimore, 51: 377, 1941.

ADENDO

Tabela 1. Arquivo de entrada de dados padrão para confecção de quatro curvas de retenção utilizando onze valores de potencial mátrico em módulo ($|\psi|$).

$\|\psi\|$	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
0	0,605	0,565	0,459	0,701
10	0,595	0,500	0,450	0,700
20	0,435	0,457	0,390	0,590
40	0,385	0,310	0,297	0,435
60	0,300	0,285	0,201	0,350
100	0,250	0,260	0,190	0,301
300	0,220	0,220	0,160	0,280
600	0,190	0,210	0,150	0,247
1000	0,167	0,160	0,110	0,198
3000	0,160	0,152	0,105	0,183
15000	0,151	0,147	0,100	0,175

Tabela 2. Arquivo padrão de saída de dados.

curva	α (cm^{-1})	m	n*	θr	θs	θin	ψ_{in} (cm)	c.a.	número de iterações
				----(cm^3/cm^3)----					
2	0,068691	0,405875	1,683146	0,147	0,565	0,399	24	0,983	53

* n dependente de m

i	$\|\psi\|_i$	θi	$\hat{\theta} i$	desvio
1	0	0,565	0,565	+0,000
2	10	0,500	0,499	-0,001
3	20	0,457	0,426	-0,031
4	40	0,310	0,343	+0,033
5	60	0,285	0,300	+0,015
6	100	0,260	0,257	-0,003
7	300	0,220	0,200	-0,020
8	600	0,210	0,180	-0,030
9	1000	0,160	0,170	+0,010
10	3000	0,152	0,158	+0,006
11	15000	0,147	0,151	+0,004