

PROGRAMA PARA O CÁLCULO DA FUNÇÃO CONDUTIVIDADE HIDRAULICA DO SOLO BASEADO EM EXPERIMENTOS DE DRENAGEM INTERNA

KAREN RAQUEL PENING KLITZKE¹; THIAGO REIS PORTO²; GABRIEL BORGES DOS SANTOS³; CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA TEIXEIRA-GANDRA⁴; LUÍS CARLOS TIMM⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – karenrpkltzke@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – trporto@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – gabrielqwsantos@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – cfteixe@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – luisctimm@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Para a quantificação do movimento de água em um solo sob condições não-saturadas é necessário a determinação das suas propriedades físico-hídricas, tais como a condutividade hidráulica do solo (K), umidade do solo (θ) e o potencial matricial (Ψ_m) (GHIBERTO; MORAES, 2011). Em condições de campo, o método do perfil instantâneo tem sido adotado para a determinação da relação entre a condutividade hidráulica do solo e a umidade (ou potencial matricial). Esse método se baseia no monitoramento dos dados de θ e Ψ_m no campo ao longo de um determinado período de tempo por meio de tensiômetros, sonda de nêutrons, sondas de capacitâncias, TDR, dentre outros equipamentos (HILLEL et al., 1972).

A partir da obtenção dos dados de θ e Ψ_m , a equação de Richards é aplicada para a determinação da função $K(\theta)$ ou $K(\Psi_m)$. HILLEL et al. (1972) propuseram uma metodologia para a tabulação e análise dos dados de campo baseando-se na construção de tabelas e gráficos de θ e Ψ_m ao longo do tempo, o que facilita a compreensão das diferentes etapas do processamento dessas informações. Em uma primeira tentativa de propor um algoritmo para calcular a função $K(\theta)$, DOURADO NETO et al. (2007) desenvolveram um algoritmo usando a linguagem de programação Visual Basic e os dados de um experimento de drenagem interna obtidos por BACCHI (1988). Entretanto, os autores não deram continuidade ao aperfeiçoamento do algoritmo.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um algoritmo em linguagem “Python” para o cálculo da condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo ($K(\theta)$) ou do potencial matricial ($K(\Psi_m)$), baseando-se no método de HILLEL et al. (1972), em um primeiro momento.

2. METODOLOGIA

O algoritmo foi desenvolvido em linguagem de programação “Python” usando a plataforma Google Colaboratory (Colab), vinculada a uma conta do Google Drive. Posteriormente, o algoritmo foi adaptado à uma Interface Gráfica para a melhor visualização dos resultados ao longo da tabulação e análise dos dados. Os dados experimentais de θ e Ψ_m foram extraídos de BACCHI (1998) a partir de um experimento de drenagem interna do perfil do solo. Maiores detalhes sobre o experimento e a obtenção dos dados podem ser obtidos em BACCHI (1988).

O programa foi implementado inicialmente baseando-se no método de Hillel et al. (1972) usando as bibliotecas do Python Scipy para ajuste de curvas, SymPy para auxílio de cálculo de derivadas, Pandas e Numpy para manipulação dos dados. Os valores da umidade do solo (θ) e do potencial matricial (Ψ_m) em função do tempo foram utilizados como dados de entrada. As entradas dos dados devem estar em formato de tabela, em extensões de arquivos de planilha (por exemplo, xlsx, odt e csv). Quando os dados de umidade não estiverem disponíveis, eles podem ser estimados a partir dos dados coletados de Ψ_m ao longo do tempo (por exemplo, por meio de tensiômetros) e da curva experimental de retenção de água no solo obtida em laboratório (por exemplo, panela de pressão de Richards). O algoritmo permite que o usuário ajuste os dados experimentais de θ e Ψ_m ao modelo proposto por Van Genuchten (VAN GENUCHTEN, 1980) (Equação 1) para descrever o comportamento de θ em função de Ψ_m .

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

onde: h (ou Ψ_m) = potencial matricial da água no solo (cm ou kPa), θ_r é a umidade residual do solo ($m^3.m^{-3}$), θ_s a umidade do solo na saturação ($m^3.m^{-3}$), α e n são parâmetros de ajuste e m pode ser calculado pela restrição de MUALEM (1976), ou seja, por $m = 1 - (1/n)$.

A partir dos dados de entrada, procedimentos para o cálculo da densidade de fluxo de água no solo (q), dos valores de $-d\theta/dt$ e de $(-d\theta/dt) * dz$, dos valores de $-d\Psi_t/dt$ e $(-d\Psi_t/dt) * dz$, dentre outros, são executados ao longo do programa. Por fim, as equações de cálculo da condutividade hidráulica do solo (K) em função da umidade (θ) ou em função do potencial matricial (Ψ_m) são disponibilizadas ao usuário.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentada a interface de entrada dos dados no programa, onde o usuário “carrega” os dados de θ e Ψ_m e define as faixas de profundidade das camadas de solo onde serão obtidas as funções $K(\theta)$ ou $K(\Psi_m)$.

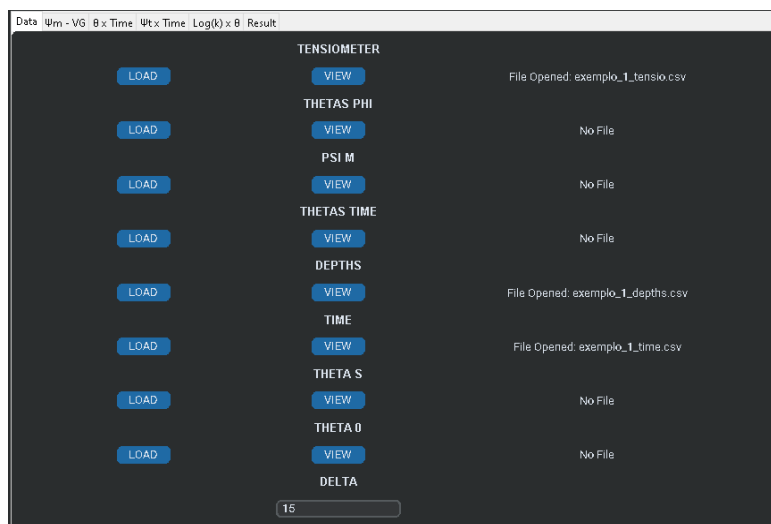


Figura 1: Interface do programa.

O programa ainda possibilita ao usuário visualizar diversos gráficos, dentre eles o gráfico de ajuste de θ em relação ao tempo (Figura 2a) e o gráfico de ajuste da curva de retenção de água do solo (Figura 2b).

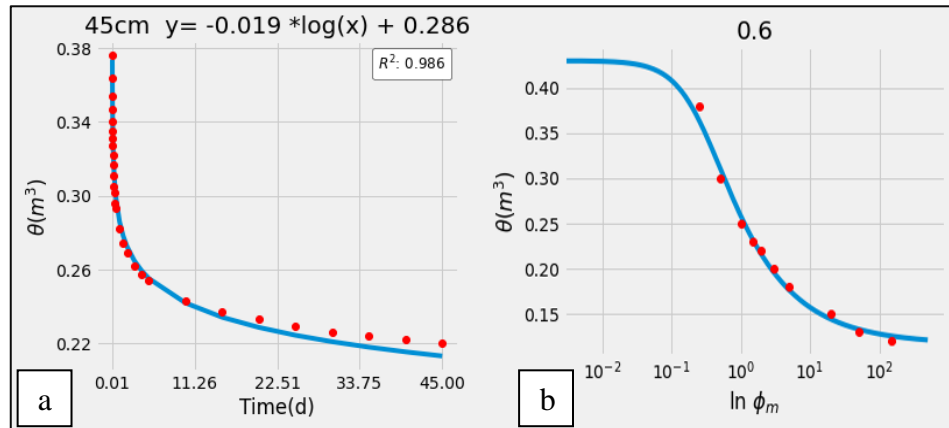


Figura 2: a) Gráfico de ajuste de θ em relação ao tempo e b) Gráfico de ajuste da curva de retenção de água no solo.

A Figura 3 ilustra a interface de saída dos resultados do programa, em que, neste exemplo, são apresentadas as regressões lineares de ajustes (e respectivos coeficientes de determinação r^2) entre o logaritmo natural de K ($\ln K$) e a umidade do solo θ para as diferentes camadas de solo avaliadas bem como a condutividade hidráulica do solo K expressa exponencialmente em função da umidade do solo.

| z | Equação $\ln(K)$ | θ_0 | $\ln(K_0)$ | K_0 | Equação $K(\theta)$ |
|----|--|------------------------------------|------------|--------|--|
| cm | cm/h | $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ | cm/h | cm/h | cm/h |
| 15 | $\ln(k) = 55.226\theta - 14.459, r^2: 0.997$ | 0.374 | 0.258 | 20.431 | $K(\theta) = 20.431e^{55.226(\theta - 0.374)}$ |
| 30 | $\ln(k) = 54.425\theta - 16.890, r^2: 0.997$ | 0.389 | 0.178 | 3.014 | $K(\theta) = 3.014e^{54.425(\theta - 0.389)}$ |
| 45 | $\ln(k) = 49.661\theta - 14.246, r^2: 0.997$ | 0.39 | 0.213 | 6.986 | $K(\theta) = 6.986e^{49.661(\theta - 0.390)}$ |
| 60 | $\ln(k) = 41.305\theta - 12.386, r^2: 0.997$ | 0.419 | 0.205 | 5.711 | $K(\theta) = 5.711e^{41.305(\theta - 0.419)}$ |

Figura 3: Ilustração da interface de saída do programa.

4. CONCLUSÕES

O programa é de fácil compreensão e a interface bastante amigável para os seus potenciais usuários. As próximas etapas compreendem a implementação de outros métodos para a determinação da função $K(\theta)$ bem como o aperfeiçoamento das rotinas de entrada e saída dos resultados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACCHI, O. O. S. **Teoria dos fatores de escala na análise comparativa de métodos de determinação da condutividade hidráulica de um solo**. 1988. 109f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de São Paulo.

DOURADO NETO, D. et al. A software to calculate soil hydraulic conductivity in internal drainage experiments (SHC, Version 2.00). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1219-1222, 2007.

GHIBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da condutividade hidráulica em um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1177-1188, 2011.

HILLEL, Daniel; KRENTOS, V. D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil science**, v. 114, n. 5, p. 395-400, 1972.

LIBARDI, P. L. (2005). **Dinâmica da água no solo**. 2ª ed. Edusp, Piracicaba - SP, 335 p.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water resources research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.