

O MÉTODO INVERSO NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO-SATURADA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Eugênio Ferreira COELHO¹, Dani OR², Valdemício Ferreira de SOUSA³

RESUMO: O método inverso é apresentado para obtenção da condutividade hidráulica não-saturada, $K(h)$, de um solo franco siltoso sob regime de fluxo permanente. O teor de água e o potencial matricial do solo (h) foram monitorados no perfil do solo, em 24 posições radiais a um gotejador de $0,43 \text{ l.h}^{-1}$. Os resultados mostraram que este método permite uma determinação ampla do parâmetro $K(h)$ e sua acuracidade depende fundamentalmente da precisão do modelo a ser usado.

PALAVRAS-CHAVE: Fluxo permanente, soluções analíticas, distribuição de água no solo

ABSTRACT: The inverse method is presented for determining the unsaturated hydraulic conductivity, $K(h)$, of a silt loam soil under point source and steady-state flow. Water content and matric potential (h) were monitored in the soil profile, at 24 radial positions from a $0,43 \text{ l.h}^{-1}$ dripper. Results showed that the inverse method gives an extended determination of $K(h)$ and the success of the method is highly dependent on the accuracy of the fitted model.

KEYWORDS: Steady-state flow, analytical solutions, soil water distribution

INTRODUÇÃO: Uma das grandes dificuldades no uso de modelos de distribuição de água no bulbo molhado sob gotejamento refere-se aos parâmetros de entrada. A condutividade hidráulica não-saturada $K(h)$ é um das propriedades de mais difícil acesso. A maioria dos métodos determinam $K(h)$ para uma camada pouco espessa próxima da superfície do solo, e poucos métodos têm sido propostos para profundidades maiores do perfil (Reynolds et al, 1985; Shan & Stephens, 1993). Em geral, esses métodos resultam em um valor único representativo do perfil. Uma maneira de atenuar esse problema pode ser por um processo de otimização de ajuste de um modelo a dados coletados onde os parâmetros de solo são as variáveis. Este procedimento, chamado método inverso, tem sido usado por alguns autores (Dam et al, 1994; Shan & Stephens, 1993) e permite a obtenção dos parâmetros de solo em situações de difícil acesso aos métodos físicos. Também, apresenta a vantagem de usar modelos ou soluções analíticas de fácil operação. Este trabalho teve por objetivo determinar, pelo método inverso, a $K(h)$ de um solo franco siltoso, sob gotejamento, em regime de fluxo permanente.

¹ PhD em Irrigação e Drenagem, CPAMN-EMBRAPA, Av. Duque de Caxias 5650, Buenos Aires, CEP 65006-240, Teresina, PI. gev@mnet.com.br.

² PhD em Física de Solos, Utah state University, Logan, UT 84322-4820, USA. dani@tal.agsci.usu.edu

³ MS em Irrigação e Drenagem, CPAMN-EMBRAPA, Av. Duque de Caxias 5650, Buenos Aires, CEP 65006-240, Teresina, PI. gev@mnet.com.br.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento consistiu do monitoramento do teor de água e do potencial matricial do solo (h) em 24 posições de uma malha de 0,1 x 0,1 m, num plano vertical de 0,4 m x 0,7 m, radial a um gotejador de vazão 0,43 l.h⁻¹. O monitoramento foi feito até o regime permanente se estabelecer em todas as posições da malha, num solo franco siltoso. O teor de água foi medido por meio de sondas de TDR (Time Domain Reflectometry) e os valores de h por meio de tensiômetros conectados a transdutores ligados a um ‘datalogger’. Um processo de otimização foi utilizado para ajustar um modelo aos dados de h coletados durante a fase de regime permanente. O modelo consistiu da solução analítica de distribuição bi-dimensional de h no bulbo molhado, considerando o gotejador na superfície do solo (ponto fonte) e regime permanente (Raats, 1971):

$$\Phi_s(r, z) = 2\left[\frac{q}{4\pi\rho} e^{\frac{\alpha(z-\rho)}{2}}\right] + \frac{2qe^{\alpha z}}{4\pi} E_i\left\{-\frac{\alpha}{2}[z + \rho]\right\} \quad (1)$$

sendo q a vazão do gotejador, $\rho=(z^2+r^2)^{1/2}$, z e r coordenadas cilíndricas; E_i integral exponencial; e α representa a taxa de redução de $K(h)$ com h . O valor de h é dado pela equação:

$$h(r, z) = \frac{1}{\alpha} \ln\left[\frac{\alpha\Phi_s(r, z)}{K_s}\right] \quad (2)$$

em que K_s é a condutividade hidráulica saturada. As equações (1) e (2), juntamente com os dados de h coletados, foram usadas na otimização em que as variáveis do processo foram os parâmetros hidráulicos do solo K_s e α .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 ilustra o ajuste do modelo aos valores observados de h durante a fase de regime permanente de fluxo. Os parâmetros hidráulicos K_s e α resultaram na seguinte equação para $K(h)$, conforme Gardner(1958):

$$K(h) = 2,315e^{0,03589h}$$

O valor de K_s obtido por esse método foi muito próximo do medido (2,1 cm.h⁻¹). O valor de α não foi comparado porque o mesmo não foi determinado em condições de umidade similares. Os parâmetros de solo, obtidos usando esse modelo, são válidos apenas para a faixa de teor de água equivalente à condição de regime permanente de fluxo, no caso, -90 \leq $h \leq$ -30 kPa. Faixas de menor teor de água resultarão em diferentes valores desses parâmetros, o que demandará o uso de soluções analíticas que considerem regime de fluxo transiente. Um fator essencial no sucesso do método inverso é a precisão do modelo em uso. Nenhum modelo considera todas as variáveis envolvidas no processo que descreve, mas se o modelo é adequado o coeficiente de determinação (R^2) deverá ser elevado. O presente modelo pode ser considerado razoável pelo K_s obtido e pelo R^2 (0,7578) que apresenta, além de ser um modelo clássico para a situação testada.

CONCLUSÕES: O método inverso permite uma determinação ampla do parâmetro $K(h)$ por meio de modelo analítico acessível e sua acuracidade depende fundamentalmente da precisão do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

DAM, J.C. van; STRICKER, J.N.M.; DROOGERS, P. The inverse method to determine soil hydraulic functions from multistep outflow experiments. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p.647-652, 1994.

GARDNER, W.R. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from water table. **Soil Science**, v.85, p. 228-232, 1958.

RAATS, P.A.C. Steady infiltration from point sources, cavities and basins. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.35, p.689-694, 1971.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E.; CLOTHIER, B.E. The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. **Soil Science**, v. 139, n. 2, p. 172-180, 1985.

SHAN, C.; STEPHENS, D.B. A borehole field method to determine unsaturated hydraulic conductivity. **Water Resources Research**, v. 29, n. 8, p. 2763-2769, 1993.

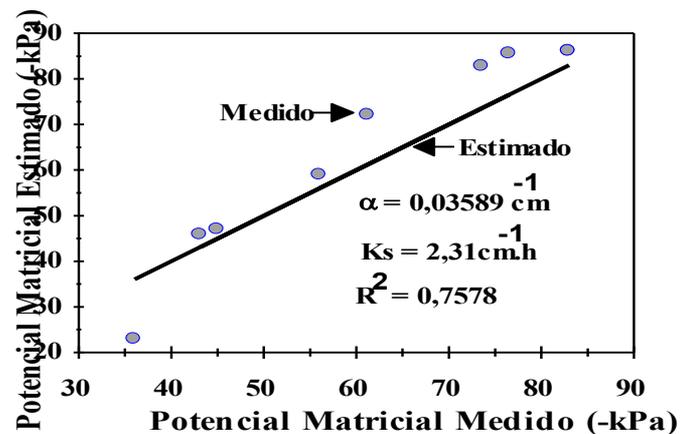


FIGURA 1- Parâmetros hidráulicos, K_s e α , resultantes do ótimo ajuste entre os dados de potencial matricial (h) medidos e estimados.