

## NOTA PRÉVIA

# UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

José Elenildo Queiroz<sup>1</sup>, Izaque F. C. de Mendonça<sup>2</sup> e Rivaldo Vital dos Santos<sup>3</sup>

### RESUMO

Dois procedimentos de cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado, medida pelo método do poço na presença do lençol freático, são analisados e discutidos, cujos resultados mostraram não haver diferença significativa entre eles; entretanto, o método com a regressão do tipo exponencial apresenta a vantagem de evitar o uso de tabelas, além de ser mais apropriado para cálculos através do uso de programas computacionais.

**Palavras-chave:** condutividade hidráulica, método do poço, parâmetros empíricos

### A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO PROCEDURES TO COMPUTE HYDRAULIC CONDUCTIVITY

### ABSTRACT

Two procedures to compute the hydraulic conductivity by the auger hole method (AHM) are analysed and discussed. Results indicated that there is not significant differences between the two procedures. However, the procedure with exponential regression has the advantage of avoiding use of tables, besides to be more appropriate for the calculations by means of computers programs.

**Key words:** hydraulic conductivity, auger hole method, empirical parameters

### INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica do solo saturado é um dos principais parâmetros utilizados no cálculo do espaçamento entre linhas de drenos e na validação de modelos matemáticos para predição do rebaixamento (ou elevação) do lençol freático e caracterização do fluxo de água em direção aos drenos. Para sua determinação existem vários métodos de laboratório e de campo, muitos deles aplicáveis em condições bastante restritivas.

Os métodos de laboratório apresentam, como principais inconvenientes, a pouca representatividade da amostra de solo e a dificuldade de obtenção de amostras com estrutura indefinida (Pizarro, 1978). Já os métodos de campo fornecem

resultados mais reais e com maior precisão, sendo mais recomendáveis para os cálculos de drenagem subterrânea.

O “auger hole method” (AHM) ou método do poço na presença do lençol freático, conforme descrito por vários autores (Luthin, 1967; Bouwer & Jackson, 1974; Cruciani, 1983; Millar, 1988) é um dos mais utilizados. Segundo Bouwer & Jackson (1974) os resultados obtidos por este método tendem a reduzir a variabilidade dos dados devido ao grande volume de solo envolvido na determinação da condutividade hidráulica. Por outro lado, o uso de diferentes procedimentos de cálculo para um mesmo teste de campo dificulta a interpretação dos resultados. Este trabalho tem por objetivo comparar dois procedimentos de cálculo da condutividade hidráulica medida pelo método do poço na presença do lençol freático.

<sup>1</sup>Eng. Agrícola, Dr., Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Florestal/Campus VII/UFPB, C.P. 64, 58700-970, Patos, PB, fones:(083)421.3397 e 422-1520. Fax (083)421.4659.

<sup>2</sup>Eng. Florestal, M.Sc., Prof. Assistente, Departamento de Engenharia Florestal/Campus VII/UFPB.

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, Dr., Departamento de Engenharia Florestal/Campus VII/UFPB.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois procedimentos de cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado, a partir de dados de campo, obtidos pelo método do poço na presença do lençol freático, foram utilizados, um envolvendo um processo de interpolação linear (método convencional) e outro uma regressão do tipo exponencial (método proposto). No primeiro utilizou-se a equação de Ernst, apresentada na sua forma original (Millar, 1988; Queiroz, 1995; entre outros) com fator de correção devido à temperatura (Pizarro, 1978) isto é,

$$K_{sc} = \frac{4000r^2}{(H + 20r) \left( 2 - \frac{\bar{y}}{II} \right) \bar{y}} \frac{\Delta y}{\Delta t} \frac{\eta(Ta)}{\eta(Tp)} \quad (1)$$

em que  $K_{sc}$  é a condutividade hidráulica saturada corrigida (m dia<sup>-1</sup>),  $r$  é o raio do poço (cm),  $H$  a profundidade do poço em relação ao nível freático (cm),  $\bar{y}$  a distância do nível freático ao ponto médio da elevação do nível da água no poço (cm) para um intervalo de tempo considerado,  $\Delta y$  é a elevação do nível da água no poço (cm) no intervalo de tempo  $\Delta t$ ,  $\eta(Ta)$  e  $\eta(Tp)$  representam a viscosidade dinâmica da água às temperaturas ambiente e padrão, respectivamente.

Os detalhes geométricos do poço são mostrados na Figura 1. As distâncias  $D_r$ ,  $D_f$ ,  $D$ ,  $D_i$ ,  $y_o$ ,  $y_r$ ,  $L_o$  e  $L_r$ , são assim definidas:  $D_r$  - distância vertical da superfície do solo ao nível de referência (cm);

$D_f$  - profundidade do lençol freático abaixo do nível de referência (cm);

D - profundidade do poço a partir do nível de referência (cm);  
 D<sub>i</sub> - profundidade da camada impermeável abaixo do fundo do poço (cm).

$y_o$  - distância entre o nível freático e o nível da água no poço em 1-0 (cm);

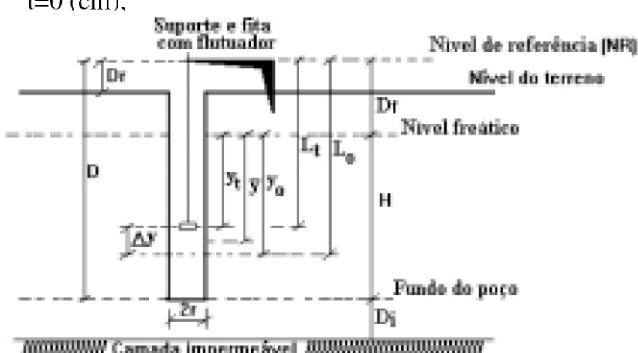


Figura 1. Diagrama esquemático do poço para determinação da condutividade hidráulica.

$y_t$  - distância entre o nível freático e o nível da água no poço em  $t = t$  (cm);

$L_0$  - profundidade do nível da água no poço em relação ao nível de referência no instante  $t=0$  (cm);

$L_t$  - profundidade do nível da água no poço em relação ao nível de referência no instante  $t > 0$  (cm).

O valor de  $\Delta t$  da equação (1) é, normalmente, estimado por interpolação linear a partir da tabela de dados de cada teste de campo, contendo a elevação da água dentro do poço ( $y$ ), em

função do tempo ( $t_i$ ), adotando-se um critério de fixação de  $\Delta y$ . Millar (1988) recomenda que  $\Delta y$  não deve exceder 25% da distância entre o nível freático e o nível da água dentro do poço no momento da primeira leitura, isto é,  $\Delta y < 0,25 y_o$ .

No segundo procedimento os valores de  $y_i$  e de  $t_i$  são ajustados através de um modelo exponencial, isto é,

$$y = a \exp(bt) \quad (2)$$

em que  $a$  e  $b$  são parâmetros obtidos por regressão.

A recuperação da água dentro do poço pode ser fixada como uma fração da distância correspondente a primeira leitura durante o teste, isto é,

$$\Delta y = \frac{1}{m} y_o \quad (3)$$

sendo m fixado conforme as condições de fluxo em direção ao poço.

Da equação (2) tem-se:

$$t = \Delta t = \frac{1}{b} \ln\left(\frac{y_n}{a}\right) \quad (4)$$

sendo que  $y_n$  representa a distância mínima admitida entre o nível freático e o nível da água no poço. Assim, a equação (1) pode ser expressa como:

$$K_{sc} = \frac{4000 b r^3}{(H + 20r) \left( 2 - \frac{\bar{y}}{H} \right) \bar{y} \ln \left( \frac{y_n}{a} \right)} \frac{\eta(Ta)}{\eta(Tp)} \quad (5)$$

Expressando  $\bar{y}$  e  $y_n$  em função de  $y_o$  e, substituindo-se na equação (5), deduz-se que:

$$K_{\infty} = \frac{8000 b r^2}{(2m-1)(H+20r) \left( 2 - \frac{1}{2m} \frac{(2m-1)y_u}{H} \right) \ln \left( \frac{(m-1)y_u}{am} \right)} \frac{\eta(Ta)}{\eta(Tp)} \quad (6)$$

Para comparação dos dois procedimentos foi utilizado um conjunto de 84 dados de condutividade hidráulica, obtidos a partir de testes de campo realizados por Queiroz (1995).

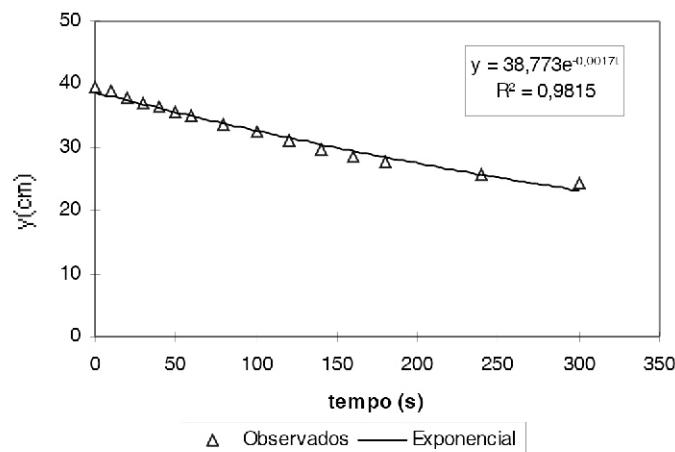
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de campo referentes a um teste de condutividade hidráulica. Fixando-se  $\Delta y$  em 20% do valor de  $y_0$  ( $m = 5$ ), ou seja,  $\Delta y = 7,9$  cm, obtém-se  $y_h = 31,6$  cm e  $\bar{y} = 35,55$  cm. Com  $y_h = 31,6$  cm, por interpolação linear, obtém-se o intervalo de tempo  $\Delta t = 113,33$  s. Com os valores de  $\Delta y = 7,9$  cm,  $\Delta t = 113,33$  s,  $\bar{y} = 35,55$  cm,  $\eta(26^\circ\text{C}) = 0,00868 \text{ g cm}^{-1}\text{s}^{-1}$ ,  $\eta(20^\circ\text{C}) = 0,01002 \text{ g cm}^{-1}\text{s}^{-1}$  e os demais parâmetros envolvidos na equação (1), obteve-se o valor  $K_{sc} = 0,6883 \text{ m dia}^{-1}$ . Para os mesmos dados, utilizando-se o processo envolvendo a regressão do tipo exponencial, conforme a equação (2), obteve-se  $K_{sc} = 0,6555 \text{ m dia}^{-1}$ .

Tabela 1. Dados de um teste de condutividade hidráulica (Queiroz, 1995)

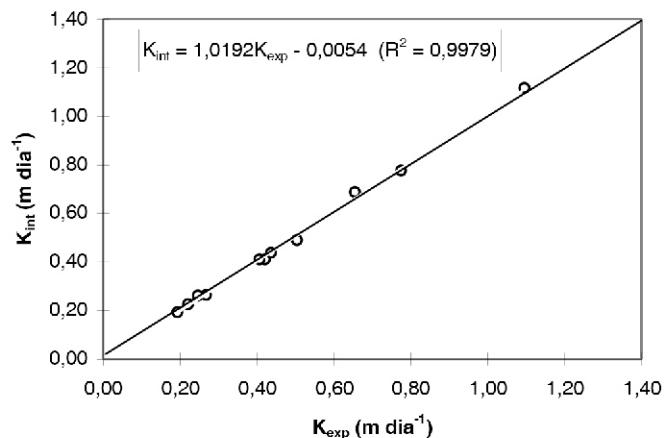
Profundidade do fundo do poço a partir do nível freático (H)	47 cm	
Profundidade da camada impermeável (Di)	Di > 1/2 H	
Temperatura da água no poço	26°C	
Tempo $t_i$ (s)	Leituras (cm)	$y_i$ (cm)
0	92,5	39,5
10	91,9	38,9
20	90,8	37,8
30	90,0	37,0
40	89,3	36,3
50	88,7	35,7
60	88,0	35,0
80	86,5	33,5
100	85,4	32,4
120	84,2	31,2
140	82,8	29,8
160	81,4	28,4
180	80,7	27,7
240	78,8	25,8
300	77,3	24,3

A Figura 2 mostra o ajuste exponencial dos dados de  $y_i$  em função de  $t_i$  e a equação de regressão obtida, com coeficiente de ajuste ( $R^2$ ) igual a 0,9815. Para os 84 testes de condutividade hidráulica, este coeficiente variou entre 0,9665 a 0,9999, demonstrando bom ajuste dos dados.

Figura 2. Distância do nível freático ao nível da água dentro do poço ( $y$ ) em função do tempo ( $t$ ), mostrando o modelo exponencial ajustado.

Os valores de condutividade hidráulica calculados pelo processo convencional de interpolação linear ( $K_{int}$ ) plotados contra os calculados envolvendo o ajuste exponencial ( $K_{exp}$ ), são apresentados na Figura 3. Observa-se concentração dos pontos em torno da reta, resultando um alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,9979$ ). Observa-se, ainda, não haver tendência no sentido de caracterizar

erros sistemáticos de um método em relação ao outro; portanto, o procedimento apresentado, utilizando a regressão do tipo exponencial e a equação deduzida, equação (6), pode ser usado nos cálculos de condutividade hidráulica. Este procedimento, além da vantagem de determinar a condutividade hidráulica sem a necessidade de uso de tabelas e interpolação de dados, é mais apropriado para cálculos através de calculadoras científicas (HP 48GX, por exemplo) e por computador.

Figura 3. Valores de condutividade hidráulica usando-se interpolação ( $K_{int}$ ) versus valores calculados pelo ajuste exponencial ( $K_{exp}$ )

## CONCLUSÕES

Embora ambos os métodos utilizados no cálculo da condutividade hidráulica forneçam resultados adequados, o processo envolvendo o modelo de regressão do tipo exponencial apresenta maiores vantagens do ponto de vista prático e operacional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUWER, H.; JACKSON, R.D. Determining soil properties. In: SCHILFGAARDE, J.E., ed. **Drainage for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. cap.23, p.611-66. (ASA. Agronomy, 17).
- CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1983. 337p.
- LUTHIN, J.N. Drenaje de tierras agrícolas. México: Limusa-Wiley, 1967. 684p.
- MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: Editerra, 1988. 306p.
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Espanhola, 1978. 525p.
- QUEIROZ, J.E. **Parâmetros hidrodinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 167p. (Tese de Doutorado).