

## **AVALIAÇÃO DE MODELOS DE DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NÃO SATURADA EM LABORATÓRIO E EM CAMPO**

SANTOS, R. P.<sup>1</sup>; NASCIMENTO, P. dos. S.<sup>1</sup>; ANDRADE NETO, T. M.<sup>1</sup>;  
ALVES, M. A.<sup>1</sup>; COELHO, E. F.<sup>2</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso dos modelos de VAN GENUCHTEN (1980), VG, e BROOKS & COREY (1964), BC, na estimativa da condutividade hidráulica não saturada em condições de laboratório e de campo, neste caso, também em relação ao método de HILLEL (1972). O estudo foi realizado com um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAD), de drenagem moderada. Amostras de solo a duas profundidades foram processadas em laboratório obtendo-se curvas de retenção ajustadas pelos modelos de BC e VG, dos quais se ajustaram os modelos de condutividade hidráulica não saturada desses autores. Em campo foi realizado o método do perfil instantâneo de HILLEL (1972). Os modelos de VG e BC ajustaram-se bem aos dados de campo e de laboratório, com coeficientes de determinação superiores a 90%. Em condições de laboratório o modelo de BC superestimou o de VG enquanto que para os dados de campo ocorreu uma superestimação dos dados de VG em relação a BC. Em condições de campo os dois modelos apresentaram considerável discrepância em relação ao método de HILLEL (1972) na estimativa de  $K(\theta)$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** água do solo; drenagem; perfil instantâneo.

## **EVALUATION OF MODELS OF DETERMINATION OF THE UNSATURATED SOIL HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN LABORATORY AND FIELD**

**SUMMARY:** The objective of this work was to evaluate the use of VAN GENUCHTEN (1980), VG, and BROOKS & COREY (1964), BC, models for estimating unsaturated hydraulic conductivity under laboratory and field conditions and in this case, also comparing to HILLEL (1972) method. The study was carried with a Distrofic yellow red latossol of

---

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, discentes do curso de Mestrado em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas – UFRB, Núcleo de Engenharia de Água e Solos – NEAS, CEP: 44340-000; Cruz das Almas, Ba, Tel: (75) 3621-5540, e-mail: rpsagrufba@gmail.com

<sup>2</sup> Engº. Agrícola. Centro Nacional de Pesquisa Mandioca e Fruticultura Tropical/EMBRAPA, Cruz das Almas, BA. Bolsista CNPq

moderated drainage. Soil samples collected at two depths were processed in laboratory where BC and VG models were fitted to the soil water retention data. The instantaneous profile method of HILLEL (1972) was performed in the field. The VG and BC models fitted reasonably to the field and laboratory data, with the goodness of fit larger than 90%. The BC model overestimated the VG one under laboratory conditions, while there was an overestimation of VG data concerning to BC ones under field conditions. Both models showed relevant differences from the HILLEL (1972) method for estimating  $K(\theta)$  under field conditions.

**KEY WORDS:** soil water, drainage, instantaneous profile.

## INTRODUÇÃO

A determinação da condutividade hidráulica no solo pode ser realizada por avaliações em laboratório ou em campo (JONG VAN LIER & LIBARDI, 1999). Os métodos de campo empregados com mais sucesso para sua medição são fundamentados em experimentos de drenagem interna, como o método do perfil instantâneo (HILLEL et al., 1972), que se baseia na análise dos componentes da equação de Richards em perfis de potenciais e fluxos transientes durante a drenagem vertical que ocorre após a saturação do solo por uma chuva ou irrigação (PAIGE & HILLEL, 1993). A principal vantagem do método do perfil instantâneo é a possibilidade de se medir diretamente no campo as propriedades hidráulicas, sem a necessidade de aguardar o estabelecimento de um equilíbrio dinâmico. Todavia, o método apresenta limitações como a grande demanda de tempo e mão de obra que constitui um dos grandes problemas principalmente em perfis de solos heterogêneos, onde não há uma redistribuição de água uniforme, pois a presença de camadas menos permeáveis torna a drenagem muito lenta (JONG VAN LIER & LIBARDI, 1999). Em decorrência das desvantagens apresentadas pelo método do perfil instantâneo, avanços no estudo de métodos para a determinação da função  $K(\theta)$ , tem sido feito, principalmente a partir da curva de retenção de água no solo (BROOKS & COREY, 1964; VAN GENUCHTEN, 1980).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a condutividade hidráulica não saturada obtida pelo método de campo (HILLEL, 1972) e pelos modelos paramétricos de VAN GENUCHTEN (1980) e BROOKS & COREY (1964), com base em curvas de retenção de água do solo obtidas em campo e em laboratório.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical com um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAD), de drenagem moderada. Para condução do experimento de drenagem interna, delimitou-se uma parcela de 4,0m x 4,0m seguindo-se todos os procedimentos descritos no método do perfil instantâneo conforme REICHARDT & TIMM (2004). O monitoramento do estado da água no solo foi feito por três baterias de cinco tensiômetros instalados nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,00 m, e igual número de sondas de TDR de três hastes para leitura da umidade nas profundidades de 0, 0,30; 0,50; 0,70 e 0,90 m. A parcela foi inundada durante um período suficiente para estabilização das leituras de tensiômetros e sondas de TDR em valores correspondentes a saturação até a profundidade 0,60 m. Em seguida, para evitar evaporação, a superfície da parcela foi coberta com uma lona plástica de cor branca e sob o plástico colocou-se uma camada de resíduos vegetais. O monitoramento do estado da água no solo nas profundidades estabelecidas ocorreu num período de 27 dias a partir da saturação do solo. A determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) foi obtida de SOUZA & SOUZA (2001), que usaram o método do permeâmetro de carga constante. A condutividade hidráulica não saturada foi determinada a partir da equação da continuidade, sendo que a integral da variação de umidade com o tempo foi tomada como a variação de armazenamento ( $\partial A$ ) no tempo, conforme REICHARDT & TIMM (2004):

$$K(\theta) = \frac{\frac{\partial \theta}{\partial t} L}{\frac{\partial H}{\partial z}} = \frac{\frac{\partial A}{\partial t}}{\frac{\partial H}{\partial z}} \quad (3)$$

em que;  $\theta$  é a umidade em base volumétrica,  $H$  é o potencial total da água (m),  $z$  a profundidade (m) e  $t$  o tempo decorrido (horas). Os valores de  $\theta$ , para as profundidades 0,20 m, 0,40 m e 0,60 m foram usados para a determinação da saturação efetiva ( $\Theta$ ) e para a determinação de  $K(\theta)$  pela equação de VAN GENUCHTEN (1980):

$$K(\Theta) = K_s \Theta^{\frac{1}{2}} \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (4)$$

em que;  $\theta$  é a umidade em base volumétrica,  $K_s$  é a condutividade hidráulica saturada e “ $m$ ” um parâmetro de ajuste. Os valores de  $\theta$  também foram usados para obtenção de  $K(\theta)$  pela equação de BROOKS & COREY (1964), onde  $\lambda$  é um parâmetro dependente da porosidade do solo:

$$K(\Theta) = K_s \Theta^{3 + \frac{2}{\lambda}} \quad (5)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela Tabela 1, para ambos os modelos na profundidade de 0-0,20 m, se ajustaram melhor aos dados de laboratório do que aos de campo, o que pode ser atribuído às condições encontradas em laboratório que favorecem um ambiente mais controlado. Na profundidade de 0,20 – 0,40 m, observou-se que o modelo de BC obteve um melhor ajuste dos valores tanto em campo, quanto em laboratório. No que se refere aos parâmetros dos modelos, observou uma diferença acentuada no valor de  $m$ , em se tratando do modelo de VG, onde nas duas profundidades avaliadas o valor de campo foi quatro vezes superior ao valor observado em laboratório. Essa distinção nos valores foi verificada em um maior grau para Brooks & Corey para o parâmetro em questão, sendo aproximadamente 18 vezes superior no valor de campo quando comparado ao de laboratório na profundidade 0 – 0,20 m. Para a profundidade 0,20 – 0,40 m o valor de  $\lambda$  encontrado em campo (0,1331), aproximou-se do de laboratório (0,1106).

**Tabela 1:** Parâmetros dos modelos de Van Genuchten , Brooks & Corey, para condutividade hidráulica, com base nos dados do perfil instantâneo (Hillel).

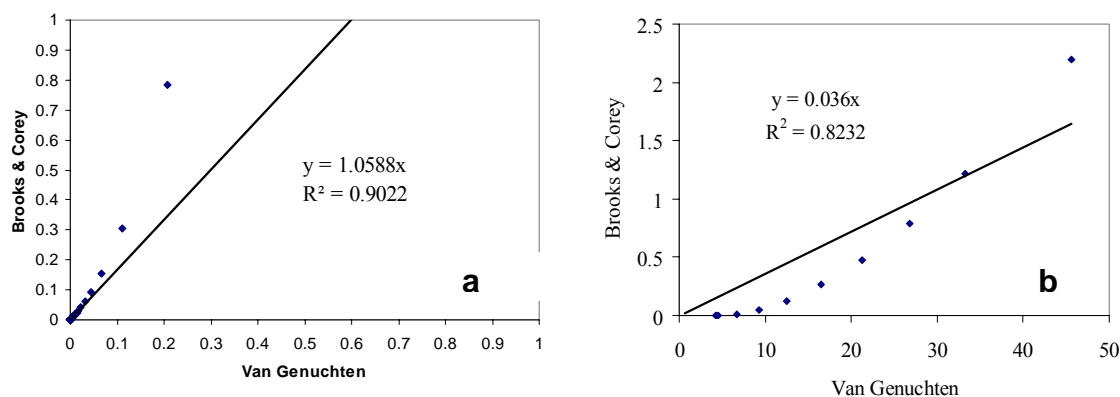
	VAN GENUCHTEN		Brooks & Corey	
Parâmetros	Campo	Laboratório	Campo	Laboratório
<b>0–20 cm</b>				
$R^2$	0,9061	0,9918	0,9602	0,9916
$m$	0,8729	0,1728	-	-
$\lambda$	-	-	1,7729	0,1020
<b>20–40 cm</b>				
$R^2$	0,9244	0,9868	0,9897	0,9856
$m$	0,8529	0,1541	-	-
$\lambda$	-	-	0,1331	0,1106

A Tabela 2 apresenta os resultados da condutividade hidráulica não saturada,  $K(\theta)$ , determinada pelo método do perfil instantâneo (HILLEL, 1972) e pelos modelos de VG e de BC em função da umidade encontrada em campo. Verifica-se que, para a mesma umidade volumétrica, houve uma variação da condutividade em função do modelo utilizado. Houve diferenças entre os valores da condutividade hidráulica não saturada em profundidade. Pelo método de Hillel, os valores de  $K(\theta)$  foram superiores na camada de 0 - 0,20 m em relação à camada de 0,20 – 0,40 m, o que a princípio pode ser atribuído ao efeito da camada coesa que é uma característica pertinente aos solos dos Tabuleiros Costeiros no qual foi conduzido o experimento. Pelo modelo de VG (1980) os valores de  $K(\theta)$  da camada 0,20 – 0,40 m não

foram inferiores aos valores da camada superficial, o que leva a verificar maior consistência dos resultados do método de HILLEL (1972). De acordo com os desvios realizados, comparando os modelos Hillel x VG e Hillel x BC observou-se que o modelo paramétrico de Van Genuchten subestimou o método de Hillel, enquanto o modelo de Brooks & Corey superestimou. Os desvios para Van Genuchten variaram aleatoriamente com a umidade obtendo valores mais discrepantes que os obtidos pelo modelo de Brooks & Corey. Comparando-se os valores de  $k(\theta)$  obtidos em laboratório para Van Genuchten (VG) e  $K(\theta)$  para Brooks & Corey (BC) na Figura 1a, foi possível observar que, BC superestima os valores de VG em 5,88%, definida pela equação  $y = 1,0588x$ , verificando-se que até o valor de  $K(\theta)$  BC = 0,09 mm.h<sup>-1</sup> os valores de  $K(\theta)$  dos modelos têm o mesmo comportamento, a partir desse valor, começa a ocorrer uma dispersão dos valores, enquanto que para os dados de campo ocorre uma superestimação dos dados de VG em relação a BC (gráfico 1b) de 96,4%, mostrando uma discrepância elevada.

**Tabela 2:** Valores de Condutividade hidráulica não saturada determinada pelo método do perfil instantâneo (Hillel), (V.G) e de (BC) em diferentes profundidades.

$\theta$	0 – 20 cm				
	K (HILLEL) (mm.dia <sup>-1</sup> )	K(θ) (V.G) (mm.dia <sup>-1</sup> )	K(θ) (BC) (mm.dia <sup>-1</sup> )	Desvios	
				Hillel x V.G(%)	Hillel x BC
0.406	41.48	45.64	2.19	-10,04	94,71
0.318	0.71	4.20	4.31E-04	-487,31	99,94
0.308	0.11	2.68	-	-2312,18	-
0.284	0.35	0.60	-	-69,90	-
$\theta$	20 – 40 cm				
0.385	9.28	29.85	0.98	-221,66	89,35
0.324	0.33	5.33	3.51E-03	-1514,26	98,94
0.314	0.07	3.54	1.93E-05	-4792,66	99,97
0.310	0.16	2.95	-	-1651,75	-



**Figura 1:** Comparação entre os valores de  $k(\theta)$  Van Genuchten e  $k(\theta)$  Brooks & Corey, através de dados obtidos em laboratório (a) e Campo (b)

## CONCLUSÃO

Os modelos de VG e BC ajustaram-se bem aos dados de campo e de laboratório, com coeficientes de determinação superiores a 90%. Em condições de laboratório o modelo de BC superestimou o de VG em 5,88% enquanto que para os dados de campo ocorreu uma superestimação dos dados de VG em relação a BC de 96,4%. Em condições de campo os dois modelos apresentaram considerável discrepância em relação ao modelo de HILLEL (1972) na estimativa de  $K(\theta)$ .

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BROOKS, R.H.; COREY, A.T. **Hydraulic properties of porous media**. Fort Collins: Colorado State University, p.27,1964.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D. & STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science Society of America Journal**, 114:395-400, 1972.
- JONG VAN LIER, Q. & LIBARDI, P. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:1005-1014, 1999.
- PAIGE, G.B. & HILLEL, D. Comparison of three methods for assessing soil hydraulic properties **Soil Science Society of America Journal**, 155:175-189, 1993.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole Ltda, 2004. 478p.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L.D. **Caracterização físico-hídrica de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical**. Cruz das Almas. Bahia. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMPF. 2001. 56p. (Boletim de Pesquisa, 20).
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, 44:892-898, 1980.