

# ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DOS MODELOS DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO EM MICROBACIAS NO SEMIÁRIDO

C. A. NEIVERTH<sup>1</sup>, F. D. D. ARRAES<sup>2</sup>, J. H. MIRANDA<sup>3</sup>, S. D. NASCIMENTO<sup>4</sup>, C. J. G.  
S. LIMA<sup>5</sup>

**Resumo:** O objetivo do trabalho foi estimar, em duas microbacias hidrográficas no semiárido do Nordeste, os parâmetros das equações de infiltração de Kostiakov, Kostiakov-Lewis (1932) e Philip (1957). A infiltração da água no solo foi determinada “in situ” pelo método do infiltrômetro de anel duplo com carga variável. As duas bacias estudadas apresentaram bom índice de correlação e o ajuste do modelo de Kostiakov. Já o modelo de Kostiakov-Lewis na bacia B1 apresentou os menores valores de soma do quadrado do erro (SQE) em relação à bacia B2, sendo esse o critério adotado para o ajuste de modelos não lineares. O solo da bacia B2 apresentou um melhor ajuste ao modelo de Philip quando comparado ao da bacia B1.

**Palavras-chaves:** Movimento de água, Ajuste de equação não linear, métodos de infiltração.

## ESTIMATED PARAMETERS OF THE MODELS OF WATER INFILTRATION IN THE SOIL IN WATERSHEDS IN THE SEMIARID

**Abstract:** The objective was to estimate, in two watersheds in the semiarid Northeast, the parameters of the equations of infiltration Kostiakov, Kostiakov-Lewis (1932) and Philip (1957). The infiltration of water in the soil was determined "in situ" method of double ring infiltrometer with varying load. The two basins studied showed good correlation and model fit Kostiakov. The model Kostiakov B1-Lewis in the basin had the lowest sum of squared error (SSE) in relation to the basin B2, which is the criterion adopted for the setting of nonlinear models. The soil of the basin B2 showed a better fit to the model of Philip the basin when compared to B1.

**Keywords:** Movement of water, adjustment of non-linear equation, Infiltration Methods

---

<sup>1</sup> Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”<sup>1</sup> Avenida Pádua Dias, 11 - Piracicaba/SP - CEP 13418-900, Tel.: (19) 3429-4156 / (19) 3429-4282 - [crisneiverth@usp.br](mailto:crisneiverth@usp.br)

<sup>2</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, [dirceuarraes@usp.br](mailto:dirceuarraes@usp.br)

<sup>3</sup> Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP; [jhmirand@esalq.usp.br](mailto:jhmirand@esalq.usp.br)

<sup>4</sup> Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, [snduarte@esalq.usp.br](mailto:snduarte@esalq.usp.br)

<sup>5</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, [cjgslima@usp.br](mailto:cjgslima@usp.br)

## INTRODUÇÃO

A infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo e afeta diretamente o escoamento superficial, componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações. Após a passagem da água pela superfície do solo, a camada superior atinge um “alto” teor de umidade, enquanto a camada inferior apresenta-se ainda com “baixos” teores. Há então, uma tendência do movimento descendente da água provocando um molhamento das camadas inferiores, dando origem ao fenômeno que recebe o nome de redistribuição.

Das equações empíricas para calcular a infiltração acumulada, uma das mais utilizadas é a equação de Kostikov, 1932 (Brandão, 2003). Restrita à situação em que há disponibilidade de dados de infiltração observados para a determinação dos parâmetros da equação, não recomenda ser aplicada a outros tipos de solo e condições diferentes das condições em que os parâmetros  $\beta$  e  $\alpha$  forem determinados (Rawls et al., 1996). Apesar de empírica, esta equação apresenta o valor da taxa de infiltração inicial tendendo para o infinito e taxa de infiltração para valores longos de tempo tendendo a zero, e não a um valor positivo constante. Este valor deve corresponder à taxa de infiltração básica (VIB) e tornando a equação limitada para a infiltração vertical (Hillel, 1980).

Philip (1957, 1969) desenvolveu uma equação teórica, obtendo uma série infinita como solução para o volume infiltrado cumulativo. A condutividade hidráulica e a difusividade são funções da umidade do solo e variam no espaço e com o decorrer do tempo. Além disso, o solo é considerado homogêneo, com umidade inicial constante ao longo da profundidade e o potencial de pressão é assumido nulo na superfície. As principais limitações para o uso desta equação é a heterogeneidade do solo, a umidade inicial, solos pouco profundos e a presença de lençol freático raso são alguns fatores limitantes à aplicação da equação.

O objetivo do trabalho foi estimar, em duas microbacias hidrográficas no Semi-árido do Nordeste, os parâmetros das equações de infiltração de Kostikov, Kostikov-Lewis e Philip.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em duas microbacias hidrográficas, localizadas na bacia do Alto Jaguaribe, em áreas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Iguatu-

CE (IFCE-Campus de Iguatu), região Centro-Sul do Ceará, entre as coordenadas geográficas 6°23'42'' a 6°23'47'' S e 39°15'24'' a 39°15'29'' W. O clima da região segundo a classificação de Koppen é do tipo BSw'h' e temperatura média mensal superior a 18 °C. A precipitação média histórica no município de Iguatu nos anos de 1974/2008 tem valor médio de  $970 \pm 316$  mm.

Conforme Bernardo et al. (2005), a infiltração da água no solo foi determinada “in situ” através do método do infiltrômetro de anel duplo com carga variável. Foram utilizados dois anéis metálicos, sendo o primeiro com diâmetro de 50 cm e o segundo com 25 cm, ambos com 30 cm de altura, instalado no centro do maior anel, e enterrados a 15 cm no solo. As leituras seguintes foram feitas nos intervalos de tempos de acordo com a metodologia descrita por Brandão (2003), finalizando o teste quando a taxa de infiltração permaneceu constante.

Foi utilizado o modelo empírico desenvolvido por Kostiakov (equação 1) e os parâmetros foram determinados utilizando o ajuste potencial:

$$I = \beta \cdot t^{\alpha} \quad (1)$$

sendo  $I$  a infiltração acumulada (cm),  $t$  o tempo de infiltração acumulado (min),  $K$  e  $m$  coeficientes que dependem do tipo de solo, com  $m$  variando de 0 a 1.

Objetivando solucionar o problema da taxa de infiltração tender a zero em um longo período de tempo. A equação de Kostiakov foi modificada (equação 2).

$$I = \beta \cdot t^{\alpha} + VIB \cdot t \quad (2)$$

em que a VIB é a taxa de infiltração básica.

Apesar da modificação feita na equação potencial (Kostiakov) visando solucionar o problema de taxa de infiltração tender a zero e não à VIB, essas equações não levam em consideração o teor de umidade inicial do solo. Assim, o teste de infiltração deve ser realizado quando o solo estiver com um teor de umidade médio, desta maneira, o problema é parcialmente resolvido.

O ajuste dos parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis foi realizado a partir do solver do Excel utilizando a metodologia descrita por Wraith & Or (1998) para ajuste de equação não linear usando o solver.

Os parâmetros da equação de Philip foram determinados utilizando a metodologia descrita por Libardi (2005), descrita abaixo:

$$I = St^{1/2} + At \quad (3)$$

Nessa equação,  $I$  representa a lâmina de água infiltrada no solo (cm);  $S$  a absorptividade ( $\text{cm}/\text{min}^{1/2}$ );  $t$  é o tempo (min) e  $A$  é um parâmetro de ajuste com as mesmas dimensões que  $K_0$  ( $\text{cm}/\text{min}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

A Figura 1 apresenta o ajuste da equação de Kostiakov (1932) para as duas bacias em estudo e as ambas apresentaram bom índice de correlação, acima de 0,99. Segundo Cunha et al (2009), a infiltração depende das propriedades físicas do solo, do conteúdo de água e da forma de umedecimento.

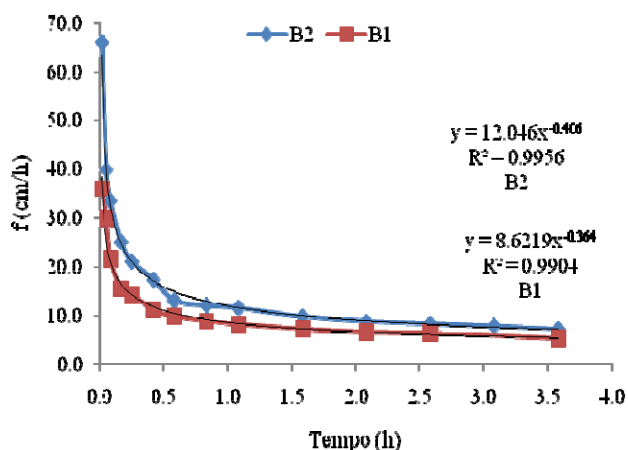


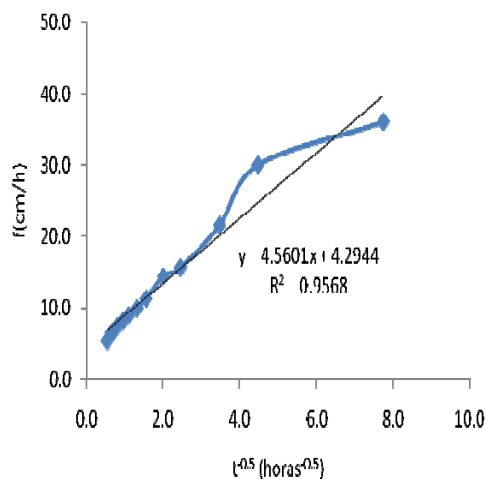
Figura 1 – Ajuste da curvas de infiltração pela equação de Kostiakov, nos solos das duas microbacias.

A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros da equação de Kostiakov-Lewis obtidos pelo ajuste não linear. Percebe-se que o valor da velocidade básica de infiltração (VIB) apresentou diferença nos valores das bacias em estudo. A bacia B1 apresentou o valor de VIB de 0,01 cm/h, enquanto B2 o valor foi de 3,24 cm/h, podendo B1 e B2 ser classificado como solos de baixa e alta VIB, respectivamente (REICHARDT, 1990). Ainda de acordo com a Tabela 2, o ajuste do modelo de Kostiakov-Lewis na bacia B1 apresentou os menores valores de soma do quadrado do erro (SQE) em relação à bacia B2, sendo esse o critério adotado para o ajuste de modelos não lineares.

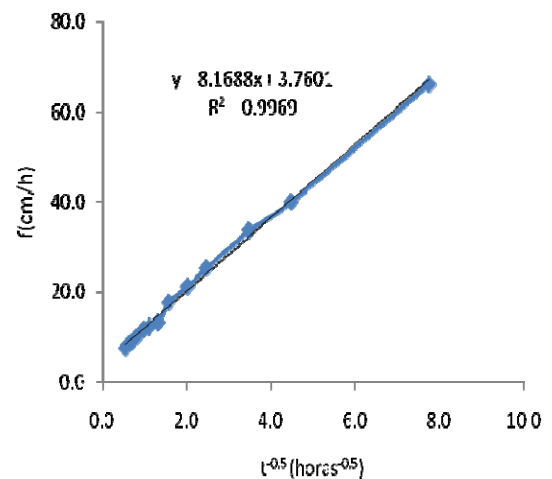
Tabela 2. Parâmetros da equação de infiltração de Kostiakov-Lewis

Bacia	Parâmetros			SQE
	B	A	VIB	
B1	8,61	0,65	0,01	0,89
B2	8,46	0,49	3,24	1,74

A Figura 2 apresenta o ajuste do modelo de infiltração de PHILIP (1957). Os parâmetros foram obtidos pelo ajuste da regressão linear simples entre  $f(\text{cm/h})$  e  $t^{-1/2}$  (LIBARDI, 2005). De acordo com este autor, quanto mais próximo da reta os ajustes dos dados observados nos gráficos estiverem, mais próximos das condições de contorno adotadas por Philip os solos se encontram. Este comportamento pode ser observado no solo da bacia B2 (Figura 2B), mas o mesmo não ocorre no solo da bacia B1 (Figura 2A). O solo da bacia B1 apresentou transição abrupta entre os primeiros centímetros do solo, ou seja, no horizonte superficial, enquanto o solo da bacia B2 apresentou uma transição gradual na profundidade do solo. Este comportamento pode ser atribuído a limitação apresentada pela equação de Philip, quando a superfície do solo não é imediatamente saturada quando se inicia a precipitação da água no solo. Como o solo das bacias B1 e B2 apresentam heterogeneidade, a existência de solos rasos e presença de lençol freático pouco profundo acabaram sendo fatores limitantes ao uso deste modelo. Também pode ser enfatizado que esta equação não é recomendada para tempos longos de infiltração. Isto porque quando os valores de  $t$  são maiores ( $t > 0$  e  $t = 0$ ), a taxa de aumento de água armazenada se torna pequeno se comparada com os valores absolutos dos demais termos da equação, sendo a equação válida somente nos primeiros estágios de infiltração (equação 3).



(A)



(B)

Figura 2 – Ajuste do modelo de Philip para as bacias em estudos.

## CONCLUSÕES

As duas bacias estudadas apresentaram bom índice de correlação e ajuste do modelo de Kostiakov, podendo este modelo empírico ser utilizado para determinar a velocidade de infiltração de água para este tipo de solo e outros que apresentem atributos físicos semelhantes. Já o modelo de Kostiakov-Lewis na bacia B1 apresentou os menores valores de soma do quadrado do erro (SQE) em relação à bacia B2. Já para o modelo de Philip, o solo da bacia B2 apresentou um melhor ajuste comparado ao da bacia B1. O cálculo da infiltração apresenta a vantagem de considerar a umidade inicial do solo, mas tem a desvantagem de serem determinadas a partir das características do solo.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.
- BRANDÃO, V. S. 2003. Infiltração da Água no Solo. Viçosa:UFV.
- CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; SANTOS JUNIOR, R. B. dos. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. Caatinga (Mossoró,Brasil), v.22, n.1, p.199-205, janeiro/março de 2009.
- HILLEL, D. Applications of soil phisic. California: Academic Press, Inc. 1980/1982, 385p.
- REICHARDT, K., 1990. A água em Sistemas Agrícolas. 1º Ed., Manole, São Paulo,188 pp.
- KOSTIAKOV, A. N. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percalation in soils and the necessity of studyin it from a dinamic vier for the purposes of amelioration. Trans. 6 th Congr. Int. Soc., part A:17-21.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba – ESALQ/ESALQ. 1995, 497 p.
- PHILIP, J. R. (1957). Numerical solutions of equations of the diffusion type with diffusivity concentration dependent. II Australina J. Phys., 10:29-42.
- PHILIP, J. R. Theory of infiltration. Advances in Hydroscience, San Diego, v.5, p.215-297, 1969.
- WRAITH, J.M.; OR, D. Nonlinear parameter estimation using spreadsheet software. Journal of Natural Resources and Life Sciences Education, v.27, p.13-19, 1998.