

PROGNÓSTICO DA INFILTRAÇÃO D'ÁGUA NO SOLO POR MODELOS EMPÍRICOS

FRANCISCO J. R. DA PAIXÃO¹; ANTÔNIO R. S. DE ANDRADE²; LUCIANO F. MARQUES⁵
EULER S. FRANCO¹; CARLOS A³; TICIANA LEITE COSTA³;

1 - Departamento de Engenharia Agrícola (DEAg), Centro de Tecnologias e Recursos Naturais (CTRN), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande – PB; 2 – Prof. Dr. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Unidade acadêmica de Garanhuns (UAG) Garanhuns, PE, e-mail: arsa@fca.unesp.br; 3 - (DEAg/ CTRN/UFCG). Campina Grande, PB. e-mail: cazevedo@deag.copeag.ufcg.edu.br; 4 - Prof. MSc. Instituto Centro de Ensino Tecnológico do Ceara – CENTEC, FATEC SERTÃO CENTRAL, E-mail: ticianaleitecosta@yahoo.com.br 5 – Eng. Agro. Mestrando em Agro. UFPB. E-mail: lucifm@hotmail.com

Escrito para apresentação no
XVII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem - CONIRD
07 a 12 de outubro de 2007 – Mossoró - RN

RESUMO

Este estudo objetivou estimar a infiltração de água no solo por meio de ajustes de funções não lineares e modelos empíricos propostos por Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis e comparar os resultados com os dados obtidos em campo através do infiltrômetro de anel. O experimento foi conduzido em solo de textura arenosa da área experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias – EMEPA, localizada no município de Lagoa Seca, PB. Foram realizados ao longo da área experimental um total de 65 testes de infiltração por meio do infiltrômetro de anel. Os modelos de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, foram ajustados aos dados obtidos em campo. Entre os modelos empíricos, o proposto por Horton foi o que apresentou o melhor desempenho.

Palavras-chave: movimento de água no solo, infiltrômetro.

PREDICTION OF THE WATER INFILTRATION IN THE SOIL BY EMPIRIC MODELS

ABSTRACT

The objective of this study it was to estimate the water infiltration in the soil through fittings of non-linear functions and empiric models proposed by Horton, Kostiakov and Kostiakov-Lewis and to compare the results with field data obtained using the ring infiltrometer. The experiment was conducted in sandy soil of the experimental area of the State Enterprise of Agricultural Research, located in the Lagoa Seca city, Paraíba State, Brazil. It was realized 65 ring infiltrometer infiltration tests along the experimental area. The models of Horton, Kostiakov and Kostiakov-Lewis. Among the model proposed Horton was the one that presented the best performance.

Key words: soil water movement, infiltrometer.

INTRODUÇÃO

A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical através da superfície do solo. O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e dimensionar sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo.

O conhecimento desta variável é imprescindível para a elaboração de um projeto de irrigação com objetivo de obter maior rendimento das culturas. A determinação da infiltração tem sido amplamente estudada e ainda não existe um parecer geral sobre qual é o melhor método para sua determinação. Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água, entre estes a infiltração e a redistribuição (REICHARDT & TIMM, 2004).

Embora não exista padronização dos sistemas de medição da infiltração, utilizam-se principalmente infiltrômetros duplo-anel ou simples-anel. A vantagem do primeiro sobre o segundo é de minimizar as infiltrações laterais, mantendo o fluxo na direção vertical. A sua desvantagem é uma operação mais complicada, principalmente porque necessitam de maiores volumes de água. Porém existem diversas fórmulas conhecidas como modelos de infiltração, com a finalidade de quantificar e descrever a lei de infiltração de água no solo. São modelos desenvolvidos empiricamente ou a partir de considerações físicas, entre tantos modelos podemos citar o modelo de GREE & AMPT (1911), que para o desenvolvimento de sua equação da taxa de infiltração baseou-se na equação de Darcy-Buckinham.

O presente estudo tem como objetivo estudar e avaliar modelos de previsão da taxa de infiltração, por meio dos modelos empíricos e dos modelos baseado na regressão não linear e comparar o desempenho dos modelos propostos com os valores medidos, em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os modelos empíricos de, KOSTIOKOV (1932) e HORTON (1940) e KOSTIAKOV-LEWIS (KOSTIAKOV, 1932), que descrevem a evolução do volume infiltrado em função do tempo de infiltração, se escrevem, respectivamente, assim: Modelo de Horton;

$$V = V_o + (V_o - V_f) \exp(-K_f t), \quad (1)$$

Modelo de Kostiakov;

$$V = V_o t^b, \quad (2)$$

Modelo de Kostiakov-Lewis;

$$V = V_o t^b + V_f t \quad (3)$$

Nessas equações, $V(\text{cm.h}^{-1})$ representam-se a taxa de infiltração num tempo $t(\text{h})$ após o empoçamento da água na superfície do solo; V_o e $V_f (\text{cm h}^{-1})$ são respectivamente, as taxas de infiltração inicial e final; b e K_f são constantes de proporcionalidade que depende do tipo do

solo e da intensidade de precipitação. Os valores K_f , V_o e V_f podem ser obtidos experimentalmente, sendo V_f simplesmente a assíntota do gráfico V versus t de infiltração, K_f a declividade da reta do gráfico $(V - V_f)$ versus t , e $V_o - V_f$ o intercepto da ordenada, quando $t=0$.

O modelo de Kostiakov é uma equação empírica onde os dois parâmetros K_i e b são determinados a partir de leitura simultânea, e segundo PHILIP (1957) sua aplicação é limitada para um tempo muito longo de infiltração. O modelo de HORTON (1940) não se baseia em nenhuma teoria física, que de acordo com PHILIP (1957) é relativamente inadequado para representar um decréscimo muito rápido da taxa de infiltração, entretanto para tempo longo, ela representa melhor a infiltração se comparada com o modelo de Kostiakov. O método de campo utilizado na determinação da taxa de infiltração foi o infiltrômetro de anel, que consiste de dois cilindro concêntrico com altura de 40cm, e diâmetro de 30 e 50cm para os anéis interno e externo, respectivamente, para assegurar que a água do anel interno infiltra no perfil do solo em direção predominante vertical, o que evita superestimativa da taxa de infiltração. Os dois cilindros foram posicionados a 15cm de profundidade e durante a realização dos testes dentro do cilindro interno foi mantida uma carga de água constante de aproximadamente 15cm em relação à superfície do solo.

O experimento foi conduzido na área experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias – EMEPA, localizada no município de Lagoa Seca, Estado da Paraíba. Apresentando as coordenadas geográficas, 07°13' S; 35°52' W e altitude média de 335m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw'i.

A área experimental escolhida para o estudo sob irrigação tem uma área de 5.074 m², sendo a unidade experimental com 1,386 m² na qual foi dividida em 4 subunidades. No centro de cada uma destas subunidades foram traçadas linhas imaginárias sobre a qual se demarcaram pontos de amostragem equidistantes, totalizando um número de 65 locais. Em cada um desses pontos foram efetuados testes de infiltração com duração de 160 minutos. Foram determinadas pelo o método gravimétrico-padrão, as umidades volumétricas de amostras coletadas antes e após o teste de infiltração. Em cada ponto de medição foi também efetuada uma análise granulométrica, e determinada à porcentagem da fração de argila + silte.

As amostras de solo foram coletadas com o auxílio de um Trado Holandês e colocadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e levadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, para análises.

A infiltração da água no solo foi determinada “in situ” através do método do infiltrômetro de anel empiricamente por meio de ajustes de funções não lineares e de modelos proposto por KOSTIOKOV (1932), KOSTIOKOV (1932) HORTON (1940) e KOSTIAKOV-LEWIS (KOSTIAKOV, 1932).

Os tempos em minutos de cada leitura foram: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10 20, 30 45 e 120 minutos a contar do instante zero e, após continua se for preciso. Os testes foram realizados até que a taxa de infiltração, observada no anel interno, torna-se aproximadamente constante com o tempo. O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno se repete pelo menos três vezes.

Para avaliar o desempenho entre os valores da infiltração obtidos em campo e os valores calculados através das regressões não lineares e os modelos empírico de Kostiakov, Horton e

Kostiakov-lewis para os 65 testes de infiltração, foram feitas análise comparativa dos resultados através do método gráfico (MONTGOMERY & RUNGER, 2003) e estatisticamente através do coeficiente determinação (R^2) (BUSSAB & MORETTIN, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo da área em estudo apresenta a camada superficial bastante arenosa, seguida da última camada com um acréscimo progressivo do teor de argila, tendo a seguinte composição: de 00-20cm: areia; 75,27 g kg⁻¹, silte; 8,08 g kg⁻¹ e argila; 16,65 g kg⁻¹ de 20-40cm: areia; 72,24 g kg⁻¹, silte; 10,10 g kg⁻¹ e argila; 17,66 g kg⁻¹, sendo caracterizado como um solo franco-arenoso nas duas profundidades, respectivamente.

Analisando a tabela 1, pode-se observar que no início do processo a velocidade de infiltração foi relativamente rápida (39,61 cm h⁻¹), e decresce até um valor aproximadamente constante, denominado de velocidade de infiltração básica, estabilizando-se no tempo de aproximadamente de 160 min (0,70 cm h⁻¹).

A figura 1(a) apresenta as curvas dos valores médios da velocidade de infiltração e da infiltração acumulada podendo-se confirmar o comportamento da velocidade de infiltração do solo em relação ao tempo de infiltração, indicando que no início do teste a taxa de infiltração é alta e à medida que o tempo aumenta a infiltração diminui, até atingir um valor quase constante, denominada de velocidade de infiltração básica. O inverso do comportamento da velocidade de infiltração pode ser visto com a infiltração acumulada da água no solo.

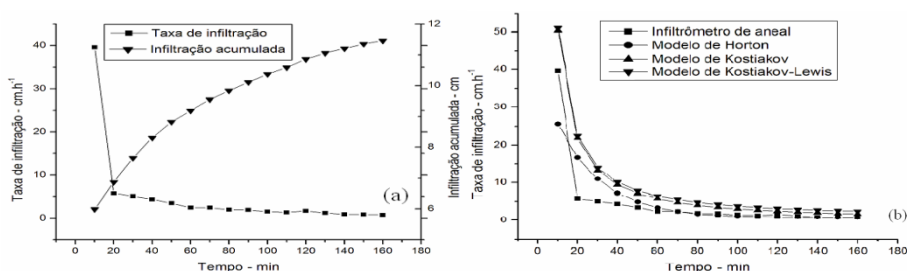


Figura 1 - Valores médio da velocidade infiltração e infiltração acumulada medidas em campo (a), valores da velocidade de infiltração obtidos em campo e pelos modelos empíricos (b)

O valor médio da velocidade básica de infiltração (0,71 cm h⁻¹), representativa para toda área em estudo foi obtido tomando como referência a curva da equação dos valores médios da velocidade de infiltração. Define-se comumente a infiltração básica de um solo como sendo a que corresponde ao instante em que a declividade (assintótica horizontal) da curva equivale a -0,01 cm h¹ min¹ (PREVEDELO, 1996).

O alto coeficiente de determinação, de valor 0.991 indica que o melhor modelo para o cálculo da velocidade de infiltração de toda área em estudo é dada pelo modelo de Horton (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores dos parâmetros e coeficientes de determinação regressões não lineares e os modelos empírico de Kostiakov, Horton e Kostiakov-lewis (médias dos 65 teste realizados em campo), Campina Grande-PB, 2007.

Modelos	Modelos empíricos				
	V_o	V_f	K_f	b	R^2
	-----cm h ¹ -----				
Horton (HT)	39,61	0,70	2,677	-----	0,991
Kostiakov (K)	39,61	-----	-----	1,212	0,957
Kostiakov-Lewis(KL)	39,61	0,70	-----	1,212	0,957

No geral, os coeficientes de determinação entre os valores médios de velocidade de infiltração obtidos em campo (experimentais) e os valores médios calculados pelos modelos foram superiores a 0,950, indicando que todos os modelos são satisfatórios na previsão da taxa de infiltração da água do solo. Os valores de R^2 altos verificados para todos os modelos analisados, indicam que a pequena proporção da variância dos dados deveu-se aos erros presentes nas estimativas dos parâmetros dos modelos.

Nota-se uma concordância de resultados dos coeficientes de determinação entre os modelos propostos, para o solo é decorrente, provavelmente, da grande homogeneidade das características físicas do solo, textura e estrutura do solo. Os modelos K, KL e PT apresentaram igualdades entre os coeficientes de determinação sendo decorrente da metodologia semelhante na obtenção dos parâmetros em suas equações. Observando-se os parâmetros dos ajustes dos modelos propostos (Tabela 1) nota-se as diferenças entre os valores médios da taxa de infiltração obtidos em campo e os calculados pelos modelos (Figura 1, b e c). Observa-se também pelas diferenças nos valores que isso corresponde ao instante em que o coeficiente de declividade equivale a $-0,01 \text{ cm h}^1 \text{ min}^1$ evidência diferença na velocidade de infiltração próxima a infiltração básica (Figura 1a).

Para confirmação deste resultado, foi construída a figura 2, que mostra os valores médios da velocidade de infiltração calculados pelos modelos versos os valores médios da velocidade observada em campo. Por essa figura, pode-se observar o melhor desempenho do modelo de HT, quando comparado com os demais, pela melhor aderência dos pontos à reta ideal. Quando se compara os dois modelos K e KL entre si, verifica-se desempenhos semelhantes no calculo da taxa de infiltração, como se pode observar na figura 2.

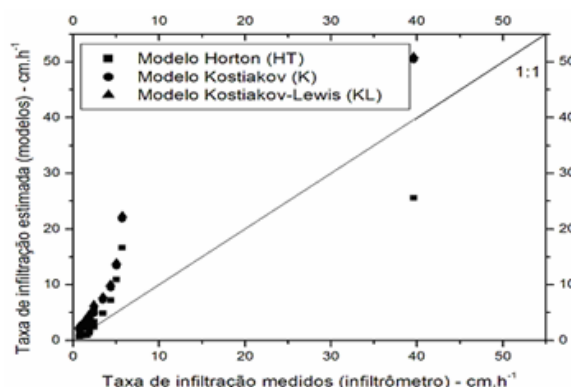


Figura 2 - Valores médios das taxas de infiltração medidas e calculadas pelos modelos empíricos (a) e valores médios das taxas de infiltração medidas e calculadas pelos modelos empíricos

A explicação para o melhor desempenho do modelo proposto por HT é a incorporação do coeficiente K_f , ao tipo de solo utilizado (franco arenoso) e a sua simplicidade. O modelo de HT tende a superestimar valores baixos no início da infiltração e subestimá-lo para valores altos entre (35 – 45 cm h⁻¹), mas com boa aproximação (Figura 2). Também se observa que os dois modelos K e KL tendem a superestimar valores baixos no início da infiltração.

O método gráfico de comparação do desempenho representado pela figura 2 é mais informativo que o coeficiente de determinação (BUSSAB & MORETTIN, 2004). Por esse método, constata-se que o melhor modelo para cálculo da taxa de infiltração de água do solo para toda área em estudo é dado pelo modelo de HT.

CONCLUSÕES

Os modelos de Horton foi o que apresentou em média, os melhores valores para estimativa da taxa de infiltração e forneceu resultados estatisticamente equivalentes aos de K e KL, evidenciados pelas semelhanças dos altos valores do coeficiente de determinação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAUMHARDT, R.L.; ROMKENS, M.J.M.; WHISLER, F.D. Modeling infiltration into a sealing soil. *Water Resour. Res.*, Washington, v.10, n.10, p.2497-2505, 1990.
- BUSSAB, W. de O. & MORETTIN, P.A. *Estatística Básica*. Editora Saraiva, 2004, 525 p.
- CARVALLO, H.O.G. *Física dos solos*. 1 ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.
- EDWARDS, W.M.; LARSON, W.E. Infiltration of water into soils as influenced surface seal development. *Transactions of ASAE*, v. 12, n.4, p.463-5, 1969.
- GREEN W.H. & AMPT, G. *Studies of soil physics. Part I. The flow of water and air through soils*. *J. Agric. Sci., London*, v.4, 1-24, 1911.
- HILLEL, D. *Applications of soil physics*. California: Academic Press, Inc. 1980, 385 p.
- HORTON, L.D. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.5, 399-417, 1940.
- KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Trans. 6th h comm. Intern. Soc. Soil Sci.*, Moscou, Part A., 17-21, 1932
- LIBARDI, P.L. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba – ESALQ/ESALQ. 1995, 497 p.
- MONTGOMERY, D.C. & RUNGER, G. C. *Estatística aplicação e probabilidade para engenheiros*. 2ed., Editora LTC, 2003, 465p.
- PHILIP, J.R. The theory of Infiltration: 5. The Influence of the Initial Moisture Content. *Soil Science*, v.4, n.84, p.329-339, 1957.
- PREVEDELLO, C. L. *Física do solo com problemas resolvidos*. 1º. ed. Curitiba: C.L, 1996. 446p.
- PRUSKI, F.F.; et al. *Infiltração de água no solo [S.l.:s.n]*, 1997. 26p. (Caderno didático, 25).
- REICHARDT, K & TIMM, L. C. *SOLO PLANTA E ATMOSFERA, Conceitos, processos e aplicações*. Manole editora Piracicaba- São Paulo, 2004, 471p.