

A EQUAÇÃO DE HOLTAN MODIFICADA E A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM UM SOLO DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA¹.

José Vanglesio de AGUIAR², Paulo Leonel LIBARDI³, Luis Carlos Uchôa SAUNDERS⁴; Vital Pedro da Silva PAZ⁵

RESUMO: Estudou-se a infiltração da água em um solo Bruno Não-Cálcico, em uma área da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará, utilizando a equação de Holtan modificada. Foram realizados testes para obtenção da capacidade máxima de infiltração, infiltração em regime estacionário e porosidade total do solo. A partir de dados de velocidade de infiltração e umidades correspondentes, foi ajustada uma equação de infiltração da forma: $V_i = I_f + (I_o - I_f)[(\Theta_o - \Theta)/\Theta]^\alpha$, onde V_i é a velocidade de infiltração, I_o e I_f são a capacidade máxima de infiltração e a taxa de infiltração em regime de estacionário, respectivamente, Θ_o é a umidade de saturação na camada 0-20cm, e α é uma constante que exprime a inclinação da forma linearizada da função $V_i(\Theta)$.

PALAVRAS-CHAVE: infiltração, taxa de infiltração, equação de infiltração

ABSTRACT: The objective of this paper was to study the behavior of the infiltration rate in soil classified as Brunei non calcic, at the Experimental Station of Universidade Federal do Ceará, utilizing the Holtan's infiltration equation (Holtan, 1967). The maximum infiltration capacity, constant infiltration capacity and total porosity of the soil were obtained with the infiltration tests and with infiltration rate and moisture data; a linear least squares regression was used to obtain a equation in the form: $\log(V_i - I_f) = \log(I_o - I_f) + \alpha \cdot \log[(\Theta_o - \Theta)/\Theta]$, where V_i is the infiltration rate in mm/day, I_o e I_f are the maximum infiltration capacity and constante infiltration capacity, respectively, in mm/day, Θ_o is the total porosity in $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ and α is a constant that dictates the steepness of the infiltration curve $V_i(\Theta)$; the following values has been obtained: $V_i = 17.5 + (1128.2 - 17.5)[(0.2437 - \Theta)/0.2437]^{1.4726}$

KEYWORDS: infiltration, infiltration rate, infiltration equation.

INTRODUÇÃO: O conhecimento da infiltração da água no solo é muito importante no manejo da irrigação, na avaliação de perdas por enxurrada, no estudo de problemas de drenagem, etc. Muitos modelos têm sido propostos para o cálculo da capacidade de infiltração

¹Parte da tese de doutorado apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP.

²Professor Adjunto do Departamento de Eng. Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, Fortaleza-CE
Fone (085) 288-9766, E-mail: jvaguair@ufc.br.

³Professor Titular do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Fone (019) 429-4123, E-mail: pllibard@carpa.ciagri.usp.br.

⁴Professor Adjunto do Departamento de Eng. Agrícola, UFC, Campus do Pici, Bloco 804, Fortaleza-CE
Fone (085) 288-9754. E-mail: lcusaund@ufc.br.

⁵Doutor em Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP-FAPESP, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Fone (019) 429-4217, Fax (019) 433-0934, E-mail: vspaz@carpa.ciagri.usp.br.

dos solos. Um dos mais usados é o de Holtan (Holtan et al., 1967), cuja forma original é $f = a(S-F)^n + f_c$, onde f é a capacidade de infiltração, S é o armazenamento potencial do solo acima da camada impermeável, F é a infiltração acumulada, f_c é a infiltração na condição de regime estacionário, a e n são parâmetros que dependem do solo e da sua cobertura. Huggins & Monke (1967), citados por Skaggs et al. (1969) modificaram a equação original para $f = D[(S-F)/TP]^n + f_c$ onde D é o maior aumento possível na taxa de infiltração acima da condição de regime estacionário, TP é a porosidade total acima da camada impermeável e $n=1,4$. A modificação proposta consiste em se calcular V_i para qualquer camada, independente desta ser ou não impermeável e considerar o cálculo de V_i sempre com base na umidade antecedente. Essa alteração facilita a determinação da taxa de infiltração, uma vez que a maior dificuldade em se trabalhar com a equação de Holtan, é a determinação da profundidade de controle, que serve de base para o cálculo de TP e S (Skaggs, 1969).

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi conduzido em área da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará, em um solo Bruno Não-Cálcico, de textura arenosa no horizonte A_p e argilosa no horizonte B_t . Na determinação de I_o e I_f foi utilizado um par de cilindros infiltrômetros com 30 e 60cm de diâmetros, enterrados no solo até 10 cm, com uma carga hidráulica constante de 10cm de água, no cilindro interno. Nos meses mais secos do ano (set/out), foram feitos 3 testes de infiltração, em 6 sub-áreas de 16m² cada, para obtenção da função de Kostiakov $I = I_o.t^b$, sendo I a infiltração acumulada, I_o a infiltração acumulada no primeiro minuto do teste (numericamente igual à velocidade de infiltração no primeiro minuto), I_f a velocidade de infiltração quando o perfil alcançou a condição de saturação, até a profundidade de 100cm, t o tempo de infiltração e b um parâmetro que depende das características e das condições iniciais do solo. Para determinação do valor de I_o integralizado, foi calculada a lâmina infiltrada para $t=1,0$ dia. A partir da condição de umidade mais baixa possível, novos testes foram realizados para se medir a velocidade de infiltração no primeiro minuto e a umidade correspondente, na camada superficial, para diversas condições de umidade, até a saturação do solo. Os valores da umidade foram determinados por gravimetria. Com os dados de V_i e Θ , plotou-se um gráfico de $\log(V_i - I_f)$ versus $\log[(\Theta_o - \Theta)/\Theta_o]$, determinando-se α , por regressão linear.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O parâmetro I_o associado à capacidade de absorção de água pelo solo, variou entre 1016,87 a 1283,70 mm/dia (Quadro 1), com um valor médio de 1128,2 mm/dia, próximo ao encontrado por Israelson & Hansen (1967) para solos arenosos (1290,9 mm/dia), enquanto I_f alcançou um baixo valor de 17,5 mm/dia, tendo em vista uma camada de retardamento existente próxima a profundidade de 40 cm, reduzindo o fluxo na camada superior, quando a frente de molhamento alcança aquela profundidade, sendo portanto, determinante do fluxo. As divergências encontradas entre os valores de I_o e b , em parte, deve-se aos diferentes intervalos de tempo utilizados nos testes de infiltração; a amplitude de I_o foi de 26,2% e de b alcançou 13,0% (Quadro 1), valores relativamente baixos, considerando a alta variabilidade espacial das características físicas da maioria dos solos. Os valores de α variaram de 0,7789 a 2,3143 (Quadro 1), sendo que 71,4% ficaram entre 1,0 e 2,0. obtendo-se um valor médio de 1,4726, enquanto Holtan et al. (1967) adotando este critério, encontraram 1,387 para vários tipos de solo; Holtan & Creitz (1969) citados por Skaggs et al. (1969), sugerem que α pode ser tomado como uma constante igual

a 1,4 para todos os tipos de solos; assim o valor de α encontrado no presente trabalho, está de acordo com valores encontrados por outros pesquisadores. A equação de infiltração ajustada foi portanto $V_i = 17,5 + (1128,2 - 17,5) [(0,2437 - \Theta) / 0,2437]^{1,4726}$ considerando a camada de 0 a 20cm, sendo V_i dado em mm/dia e Θ em $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$. Ela foi adotada por Aguiar (1997) na avaliação do “Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas” (MUSAG) adotado pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), cuja análise estatística revelou uma diferença nula entre a média do armazenamento medido e a média do armazenamento estimado pelo modelo, tendo o teste “t” revelado um valor de 0,63 abaixo do valor tabulado (2,58) para o nível de significância adotado de $\alpha = 0,01$.

CONCLUSÕES: a) a utilização do valor $\alpha=1,4$ mostrou-se consistente com os resultados experimentais dos testes de infiltração, para o tipo de solo estudado; b) a utilização da Equação de Holtan modificada da forma proposta, pode ser utilizada sem considerar a lâmina infiltrada e a profundidade de controle na qual é baseado o valor de TP e S, com uma boa margem de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AGUIAR, J. V. **Avaliação do “Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas” (MUSAG) para um solo sem cobertura vegetal.** Piracicaba, 1997. 93p. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.
- HOLTAN, H. N.; ENGLAND, C. B.; SHANHOLTZ, V. O. **Concepts in hydrologic soil grouping.** Transactions of ASAE, V.10, n.5, p.407-410, 1967.
- ISRAELSEN, R. W.; HANSEN, V. E. **Principios y aplicaciones del riego.** Barcelona: Reverté S/A, 1965. 396p.
- SKAGGS, R. W.; HUGGINS, L. F.; MONKE, E. J.; FOSTER, G. R. **Experimental Evaluation of Infiltration Equations.** Transactions of ASAE. v.12, n.6, p.822-828, 1969.

QUADRO 1 - Capacidade máxima de infiltração (I_0), da constante da Equação de Kostiakov

(b) e da declividade da equação de Holtan modificada (α).

Parâmetros	Sub-área 1	Sub-área 2	Sub-área 3	Sub-área 4	Sub-área 5	Sub-área 6
I_0	1.283,70	1.127,52	1.057,38	1.063,04	1.220,70	1.016,87
b	0,6630	0,7012	0,7677	0,7275	0,6814	0,7492
α	2,0010	2,1343	1,0040	0,7789	1,8650	1,0525