

ESTIMATIVA DO POTENCIAL MATRICIAL NA FRENTE DE UMEDECIMENTO A PARTIR DE CARACTERÍSTICAS DO SOLO

WENDY F. ATAIDE¹, DEMETRIUS D. SILVA², ROBERTO A. CECILIO³, MAURO A. MARTINEZ², FERNANDO F. PRUSKI⁴, DENISE A. FONSECA⁵, ANDRE L. DELBONÍ⁵

¹ Eng^o Agrícola e Ambiental, Doutorando em Tec. Ambiental e Recursos Hídricos, Depto. de Eng. Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia - Prédio SG-12, Térreo, UnB, Brasília - DF, Fone: (0XX61) 3307-2304, wendy.ataide@gmail.com

² Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG.

³ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, CCA/UFES, Alegre – ES.

⁴ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG.

⁵ Estudante de Eng. Agrícola e Ambiental, Depto. de Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: O modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson (GAML) é um dos mais utilizados para a predição da infiltração de água no solo, entretanto, apresenta como desvantagem a dificuldade de obtenção de seus parâmetros, principalmente do potencial matricial na frente de umedecimento (ψ_m). Assim sendo, este trabalho teve como objetivos: obter as variáveis necessárias à estimativa do ψ_m e estabelecer modelo matemático que relacione o ψ_m com as características físicas e a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0). Utilizou-se oito colunas preenchidas com material de três classes de solo, determinando-se a infiltração acumulada, a taxa de infiltração, as características físicas e a K_0 . O valor de ψ_m foi calculado por intermédio de um rearranjo no modelo de GAML, considerando a taxa de infiltração estável como representativa de K_0 e o teor volumétrico de água na zona de transmissão em lugar daquele correspondente à saturação. Utilizando os valores de ψ_m , das características do solo e de K_0 foram ajustados modelos de regressão, sendo a escolha do melhor modelo feita por meio dos coeficientes de determinação e pela significância dos parâmetros no modelo. Os melhores resultados foram obtidos para o modelo que relaciona o ψ_m com a porosidade, com K_0 e com a porcentagem de silte.

PALAVRAS-CHAVE: infiltração, modelagem, Green-Ampt-Mein-Larson

ESTIMATION OF THE POTENTIAL HEAD AT THE WETTING FRONT BY SOIL CHARACTERISTICS

ABSTRACT: The Green-Ampt modified by Mein and Larson (GAML) model is one of the most used for the prediction of the water soil infiltration, however, this model has a limitation for obtaining input parameters, such as the potential head at the wetting front (ψ_m). This work aimed to obtain the necessary variables for the estimation at the ψ_m , and to establish a mathematical model that relate the ψ_m with physics characteristics and the soil hydraulic conductivity (K_0). It was used eight columns filled out with three different soils. Accumulated infiltration (I), infiltration rate (Ti), the physics characteristics of the profile and the K_0 were determined. The pressure head at the wetting front was calculated through an adjustment in the GAML model, considering the rate of stable infiltration (Tie) as representative of the hydraulic conductivity, and the transmission zone moisture instead of the moisture saturation. Once having the ψ_m values, soil characteristics and K_0 , regression models were

adjusted, choosing the best fit by R^2 , and the significance of parameters. The best fitted equation was the one which related the ψ_m with the porosity, the soil hydraulic conductivity and the percentage of silt.

KEYWORDS: infiltration, modeling, Green-Ampt-Mein-Larson

INTRODUÇÃO: Infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo, sendo dependente, fundamentalmente, da carga hidráulica disponível na superfície, da textura, da estrutura, da densidade, da condutividade hidráulica, da porosidade e do teor de água no solo, quando do início do processo. A compreensão do processo de infiltração tem muitas aplicações na hidrologia, principalmente no estudo do escoamento superficial, da erosão hídrica e no transporte de contaminantes (GANDOLFI e SAVI, 2000). A melhoria das condições de infiltração da água no solo é importante na recarga dos aquíferos subterrâneos, acarretando aumento no escoamento de base e redução nas vazões máximas dos cursos d'água. Devido à complexidade e à grande importância prática da infiltração, diversos autores desenvolveram trabalhos de modelagem desse processo com base em modelos empíricos ou teóricos, dentre os quais se destaca o de Green-Ampt modificado por Mein e Larson (GAML). Embora bastante utilizado, este modelo apresenta como desvantagem a dificuldade de obtenção de seus parâmetros de entrada, principalmente do potencial matricial na frente de umedecimento (ψ_m). Apesar da grande aceitação do modelo GAML, poucas pesquisas têm sido feitas visando propor uma melhor definição de determinação de seus parâmetros de entrada sob condições de solos tropicais. Devido à dificuldade de obtenção destes parâmetros e a carência de informações envolvendo solos tropicais, torna-se necessário maiores estudos que permitam a obtenção dos mesmos com base em características do solo que possam ser facilmente obtidas, tais como a textura, a densidade e a porosidade do solo. Neste sentido, este trabalho teve como objetivos: obter as variáveis necessárias para a estimativa do ψ_m ; e estabelecer modelo matemático que relacione ψ_m com as características físicas e a condutividade hidráulica do solo saturado.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram realizados, no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Viçosa (UFV), testes de infiltração em colunas de solos construídas com tubos de PVC com 0,2 m de diâmetro e 0,8 m de altura. Foram utilizadas três classes de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Latossolo Vermelho (LV) e Argissolo Vermelho (PV). A caracterização dos solos foi feita por meio de análises físicas (EMBRAPA, 1997). Na parte superior da coluna de solo foi fixada uma calha visando direcionar o escoamento superficial para um reservatório no qual foi instalado um registrador de nível. Acompanhou-se o deslocamento da frente de umedecimento por intermédio de sondas de TDR, instaladas paralelas à superfície do solo e espaçadas de 10 em 10 cm ao longo da profundidade do perfil. O teor volumétrico de água inicial foi determinado por intermédio do método padrão da estufa, retirando-se amostras de solo, no momento da compactação. Para aplicação da chuva foi utilizado um simulador construído conforme modelo proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (NSERL/USDA-ARS). Para a determinação da taxa de infiltração estável da água no solo (T_{ie}) os testes foram conduzidos até o momento em que houve repetições da leitura da constante dielétrica aparente do solo (K_a) da sonda inferior da coluna de solo. Ao final do teste de infiltração, as colunas foram separadas em módulos de 10 cm e determinou-se a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) utilizando-se a coluna de Mariote. Determinou-se, ainda, o teor de água volumétrico do solo correspondente à saturação (θ_s) (porosidade total do solo), obtido pelo método padrão de estufa. Para a determinação da microporosidade e densidade do solo, foram enterrados verticalmente em cada módulo dois cilindros de metal de aproximadamente 0,058 m de diâmetro e 0,05 m de altura. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Para a obtenção de ψ_m foi utilizado o modelo de GAML considerando o valor da T_{ie} no lugar de K_0 e o teor de água volumétrico na zona de transmissão (θ_w) no lugar de θ_s (CECÍLIO et al., 2003; MELLO, 2003). De posse dos valores de ψ_m , das características físicas e

de K_0 foram realizadas análises de regressão múltipla utilizando-se o programa estatístico SAEG. Diferentes modelos estatísticos foram testados, sendo que para a escolha do melhor modelo observou-se o efeito significativo das variáveis utilizadas e o maior valor do coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os maiores valores de Tie foram observados para o LV (240,4 mm h⁻¹, em média). Este comportamento deve estar associado a maior quantidade da fração areia presente neste solo e, conseqüentemente, uma maior quantidade de macroporos. No caso do LVA, os elevados valores encontrados de Tie (103,5 mm h⁻¹, em média) são devido ao alto grau de desenvolvimento e estabilidade da estrutura microgranular, determinada pelos agentes cimentantes (óxidos de Fe e Al e matéria orgânica) presentes neste solo. O PV, com elevado grau de estruturação em blocos, também apresentou elevados valores de Tie (135,7 mm h⁻¹, em média), auxiliado ainda pelo fato deste solo apresentar elevados teores de óxidos de ferro. Estes óxidos, ao se ligarem às lâminas de caulinita, promovem desorganização destas lâminas favorecendo o processo de infiltração.

Quadro 1 – Valores de condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), porosidade (total, macro e micro), teor de água volumétrico na zona de transmissão (θ_w) e teor de água volumétrico inicial (θ_i) para os diferentes testes e classes de solos

Solo	Teste	K_0 (mm h ⁻¹)	Porosidade (cm ³ cm ⁻³)			θ_w (cm ³ cm ⁻³)	θ_i (cm ³ cm ⁻³)
			Total	Micro	Macro		
LVA	1	112,1	0,540	0,416	0,124	0,521	0,327
LVA	2	109,0	0,537	0,406	0,131	0,509	0,320
LVA	3	90,2	0,534	0,450	0,084	0,524	0,318
LV	1	86,7	0,477	0,211	0,266	0,413	0,108
LV	2	67,0	0,474	0,224	0,250	0,424	0,093
PV	1	29,1	0,543	0,464	0,079	0,523	0,300
PV	2	50,7	0,542	0,422	0,120	0,528	0,297
PV	3	83,2	0,541	0,434	0,107	0,525	0,289

Foi observada uma menor variabilidade entre os valores de K_0 (Quadro 1), obtidos nos diferentes testes experimentais realizados, nos latossolos em relação ao argissolo. Este comportamento pode ter sido influenciado pela estrutura granular dos latossolos em relação à estrutura em blocos do argissolo. A estrutura em blocos subangulares presentes no PV favorece a formação de caminhos preferenciais ao escoamento de água. Uma vez formado esses caminhos, o valor de K_0 pode variar consideravelmente de um teste para outro. O valor de argila dispersa em água (33% para o PV) também pode ter influenciado na variabilidade dos valores de K_0 para este solo, pois a A.D.A. pode entupir os poros dificultando a passagem da água. O LV, por ser um solo de textura arenosa, apresentou maiores valores de macroporosidade em relação aos valores de microporosidade. Este solo apresentou, ainda, os menores valores de porosidade total (ϕ) dentre os três solos utilizados no experimento. Para o LVA e o PV os valores de macroporosidade foram menores que os de microporosidade. Estes solos apresentaram valores semelhantes de porosidade total. Apesar de o LV apresentar os maiores valores de macroporosidade a condutividade hidráulica do solo saturado deste solo esteve menor do que aquela observada para LVA. O menor valor de K_0 foi observado no PV (29,1 mm h⁻¹), corresponde ao menor valor de macroporosidade (0,079 cm³ cm⁻³). Os valores de θ_w encontrados neste trabalho estiveram entre 0,87 a 0,98 dos valores de θ_s . MELLO (2003), trabalhando com LVA encontrou que o θ_w variou de 0,76 a 0,94 de θ_s . A seguir estão apresentados os modelos ajustados com valores de R^2 superiores a 0,95 e cujos parâmetros da equação apresentaram efeitos significativos, pelo menos em nível de 5% de probabilidade.

$$|\psi_m| = -1151,78 + 3122,53 \cdot \phi - 4,27 \cdot K_0 + 1767,23 \cdot S \quad R^2 = 0,98 \quad (1)$$

$$|\psi_m| = 267,51 - 3,39 * K_0 + 2049,38 ** S \quad R^2 = 0,95 \quad (2)$$

em que:

ψ_m = potencial matricial na frente de umedecimento, mm;

ϕ = porosidade total, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

K_0 = condutividade hidráulica do solo saturado, mm h^{-1} ;

S = porcentagem de silte;

*,** = significativos em níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O sinal positivo da constante que multiplica a porosidade total (Equação 1) indica uma relação direta entre este parâmetro com o ψ_m . Quanto maior a microporosidade maior é a energia com que a água está retida na matriz do solo e, com isso, maior é o valor, em módulo, do ψ_m . O contrário acontece com a macroporosidade. Maiores valores de microporosidade em relação aos de macroporosidade justificam o sinal positivo do parâmetro porosidade total. A influência da porcentagem de silte no comportamento do ψ_m está associada à diminuição da macroporosidade, uma vez que estas partículas preenchem os vazios do solo, aumentando a retenção capilar e a adsorção de água no perfil do solo. Desta forma, quanto maior a presença de silte, tanto menor, em módulo, o valor do ψ_m , o que explica o valor positivo da constante que multiplica a porcentagem de silte. O valor de K_0 apresentou uma relação inversa com o ψ_m , sendo que o aumento de uma unidade desta propriedade implica num decréscimo de, no máximo, 7,73 unidades de ψ_m . Os melhores resultados foram obtidos para os modelos que relacionaram o ψ_m em função da porosidade total, de K_0 e da porcentagem de silte (Equação 1) e para aquele que relacionou o potencial matricial em função de K_0 e da porcentagem de silte (Equação 2). Desta forma, a partir de equações ajustadas e do conhecimento de algumas características do solo, é possível estimar o potencial matricial na frente de umedecimento.

CONCLUSÕES: Com base nos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

- A porosidade total e a porcentagem de silte apresentaram relação direta com o potencial matricial na frente de umedecimento. A condutividade hidráulica do solo saturado apresentou relação inversa com o potencial matricial na frente de umedecimento; e
- A porcentagem de silte quando utilizada em combinação com outras variáveis apresentou bons resultados na modelagem do potencial matricial na frente de umedecimento, sendo que o melhor modelo foi aquele no qual o potencial matricial na frente de umedecimento está relacionado com a porosidade total, a condutividade hidráulica do solo saturado e a porcentagem de silte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CECILIO, R. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A.; **Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.415-422, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212p. 1997.
- GANDOLFI, C.; SAVI, F. A., Mathematical model for the coupled simulation of surface runoff and infiltration. **Journal Agriculture Eng. Resources**, 75: 49-55, 2000.
- MELLO, L. T. A. **Avaliação de diferentes metodologias de obtenção dos parâmetros do modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. Viçosa, MG: UFV. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, 77 p. 2003.