

ADEQUAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO DE GREEN-AMPT-MEIN-LARSON PARA A ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

ROBERTO AVELINO CECÍLIO¹, MAURO APARECIDO MARTINEZ², FERNANDO FALCO PRUSKI³, DEMETRIUS DAVID DA SILVA⁴, WENDY FONSECA ATAÍDE⁵

¹Engº Agrícola, DS, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16, Alegre (ES), 29500-000, (28) 3552-8941, rcecilio@cca.ufes.br

²Engº Agrônomo, PhD, Prof. Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, mmauro@fv.br

³Engº Agrícola, DS, Prof. Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, ffpruski@ufv.br

⁴Engº Agrônomo, DS, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, david@ufv.br

⁵Engº Agrícola e Ambiental, MS, wataide@uol.com.br

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

RESUMO: A partir de uma análise física do processo de infiltração de água no solo, propuseram-se alternativas para a adequação dos parâmetros de entrada do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson (GAML). As adequações consistiram em: substituir os parâmetros condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) pela taxa de infiltração estável (T_i) e o teor de água do solo saturado (θ_s) pelo teor de água na zona de transmissão (θ_w); e propor uma equação para a estimativa do potencial matricial na frente de umedecimento (ψ_f) baseada na condutividade hidráulica, relativa aos teores de água inicial e da zona de transmissão, e nos parâmetros do modelo de Brooks & Corey. Avaliou-se o desempenho desta adequação, comparando-se os resultados de sua aplicação no modelo GAML com aqueles obtidos com os parâmetros na forma original e outras cinco diferentes formas de adequação. Evidenciou-se que a adequação proposta foi capaz de prover melhores estimativas da infiltração, sendo recomendado para aplicação na estimativa de infiltração de água no solo.

PALAVRAS-CHAVE: frente de umedecimento, potencial matricial, condutividade hidráulica.

ADJUSTMENT OF GREEN-AMPT-MEIN-LARSON MODEL PARAMETERS TO ESTIMATE SOIL WATER INFILTRATION

ABSTRACT: Starting from a physical analysis of the process of water infiltration in the soil, alternatives were proposed to adapt the entrance parameters of the model of Green-Ampt-Mein-Larson (GAML). The adaptations consisted in: to substitute the parameters hydraulic conductivity of the saturated soil (K_0) by the stable infiltration rate (T_i) and the water content of the saturated soil (θ_s) by the water content in the transmission zone (θ_w); and to propose an equation to estimate the matric potential in the wetting front (ψ_f) based on the hydraulic conductivity, related to the water contents at the beginning of the infiltration and of the transmission zone, and in the parameters of the Brooks & Corey model. The acting of this adaptation was evaluated, being compared the results of its application in the model GAML with those obtained with the parameters in the form original and other five different adaptation forms. It was evidenced that the adaptation proposed was able to provide better estimates of the infiltration, being recommended for application in the estimate of infiltration of water in the soil.

KEYWORDS: wetting front, soil water matric potential, hydraulic conductivity

INTRODUÇÃO: O conhecimento do processo de infiltração é fundamental para o gerenciamento racional dos recursos hídricos, o manejo e conservação do solo, o dimensionamento de estruturas hidráulicas e a condução da agricultura irrigada (BRANDÃO et al., 2002). Dentre os modelos que estimam a infiltração de água no solo sob condições de precipitação, aquele apresentado por MEIN e LARSON (1973), denominado modelo de Green-Ampt-Mein-Larson (GAML), é um dos mais utilizados, sendo expresso pela equação:

$$T_i = K_0 \left(1 + \frac{\psi_f (\theta_s - \theta_i)}{I} \right) \quad (1)$$

em que T_i é taxa de infiltração (mm h^{-1}); K_0 é a condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); ψ_f é o potencial matricial na frente de umedecimento (mm); θ_s é teor de água do solo saturado ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_i é o teor de água do solo antes do início da infiltração ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); e I é a lâmina infiltrada (mm). Pode-se destacar, entretanto, duas limitações para a utilização do GAML: os parâmetros de entrada K_0 , ψ_f e θ_s , não representam efetivamente as condições reais de ocorrência da infiltração; e a dificuldade e pouca confiabilidade nos procedimentos de obtenção destes parâmetros. Assim, objetivou-se apresentar nova proposta de adequação dos parâmetros de entrada do modelo de GAML e avaliar o seu desempenho, comparando-se os resultados da aplicação desta proposta no modelo GAML com aqueles obtidos com os parâmetros na forma original e outras cinco diferentes formas de adequação já existente na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS: A adequação proposta neste trabalho consistiu das substituições, na Equação 1, de θ_s pela umidade na zona de transmissão (θ_w) e de K_0 pela taxa de infiltração estável (Tie) e da estimação de ψ_f usando a equação:

$$\psi_f = \frac{\psi_b (2 + 3\lambda) \left[\text{Kr}(\theta_w)^{\frac{3\lambda+1}{3\lambda+2}} - \text{Kr}(\theta_i)^{\frac{3\lambda+1}{3\lambda+2}} \right]}{[\text{Kr}(\theta_w) - \text{Kr}(\theta_i)] [3\lambda + 1]} \quad (2)$$

em que ψ_b é o potencial matricial de entrada de ar (mm), λ é o índice de distribuição de tamanho de poros (adimensional), ambos obtidos por intermédio do ajuste do modelo de curva de retenção de água no solo proposto por BROOKS e COREY (1964), e Kr é a condutividade hidráulica relativa (adimensional). Simulações da infiltração acumulada (I) e da taxa de infiltração (T_i) foram realizadas usando, no modelo GAML, os parâmetros obtidos com a proposta apresentada neste trabalho e as apresentadas por MEIN e LARSON (1973), CECÍLIO et al. (2003) e SILVA e KATO (1998) (Tabela 1).

Tabela 1 – Formas de obtenção dos parâmetros usados nas simulações com o modelo GAML

Simulação	θ_s	K_0	ψ_f	Fonte
S1	θ_w	Tie	eq. 2	Proposta neste trabalho
S2	θ_s	K_0	$\psi_f = \int_{0,01}^1 \psi dK_r$	MEIN e LARSON (1973)
S3	θ_w	$0,5 K_0$	$\psi(\theta_i)$	CECÍLIO et al. (2003)
S4	θ_w	K_0	$\psi_f = 0,01e^\alpha$	CECÍLIO et al. (2003)
S5	θ_w	Tie	$\psi_f = 0,01e^\alpha$	CECÍLIO et al. (2003)
S6	θ_w	Tie	$[\psi(\theta_i) + \psi(\theta_w)]/2$	CECÍLIO et al. (2003)
S7	θ_s	Tie	$\psi_f = \int_{0,01}^1 \psi dK_r$	SILVA e KATO (1998)

A fim de testar o desempenho do modelo GAML usando as diferentes proposições apresentadas na Tabela 1, testes de infiltração foram realizados, em laboratório, utilizando três colunas de PVC, com 0,20 m de diâmetro e 0,78 cm de altura útil, preenchidas com um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). Os testes experimentais foram realizados aplicando-se chuvas de intensidade constantes e iguais a 486 mm h^{-1} , 442 mm h^{-1} e 398 mm h^{-1} , sendo o escoamento superficial coletado em reservatórios e determinado com o auxílio de um medidor de nível de água, denominado Thalimedes. A lâmina de água infiltrada em um intervalo de tempo foi obtida por meio da diferença entre as lâminas precipitada e escoada superficialmente. A taxa de infiltração de água no solo foi determinada dividindo-se a lâmina infiltrada pelo intervalo de tempo entre duas leituras sucessivas realizadas no Thalimedes. Considerou-se que a Tie foi atingida quando a taxa de variação do nível de água dentro da estrutura de coleta tornou-se constante. Sondas de TDR, previamente calibradas, foram inseridas

paralelamente à superfície do solo, a várias profundidades, para a medição do teor de água inicial e final do solo. Os teores de água da zona de transmissão representam a média dos teores de água determinados, ao final dos testes experimentais, nas cinco sondas localizadas na parte inferior das colunas de solo. Determinou-se também a porosidade, a massa específica do solo, a condutividade hidráulica do solo saturado e a curva de retenção para estabelecimento dos parâmetros λ e ψ_b do modelo de BROOKS e COREY (1964). As características físico-hídricas do material de solo usado nos testes experimentais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físico-hídricas do material de solo usado nos testes experimentais.

Teste	θ_i (cm ³ cm ⁻³)	θ_s^* (cm ³ cm ⁻³)	θ_w (cm ³ cm ⁻³)	ρ_a (g cm ⁻³)	K_0 (mm h ⁻¹)	Tie (mm h ⁻¹)	ψ_b (cm)	λ
1	0,327	0,541	0,521	1,05	112,1	130,3	8,7	0,4032
2	0,320	0,537	0,509	1,06	129,5	72,5	9,1	0,4032
3	0,318	0,543	0,524	1,07	106,0	107,6	9,1	0,4032

* igual à porosidade do solo

A classificação do desempenho do modelo GAML em estimar I e T_i , usando as diferentes propostas apresentadas na Tabela 1, foi realizada por intermédio do índice de confiança ajustado (c'), adaptado do índice de concordância proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997), cujos valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para a concordância perfeita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 3 e na Figura 1, verifica-se que em todos os três testes experimentais as simulações S3, S4, S5 e S6, baseadas nas adequações propostas por CECÍLIO et al. (2003), não apresentaram bons resultados, sempre superestimando os valores de T_i e I. Deve ser considerado o fato de que estas adequações se baseiam em estimativas dos parâmetros de entrada feitas de modo empírico, e, portanto não aplicáveis em qualquer solo e qualquer situação. Assim, a utilização dessas estimativas empíricas pode acabar constituindo grave entrave à aplicação, não apenas dos modelos de GA e GAML, mas de qualquer modelo com forte base física, conforme relatado por WILCOX et al. (1990). O fraco desempenho, em muitos casos, de S4 e S5, que estimam ψ_f em função de características do solo, corrobora as afirmações de van der Zweep e Stone (1991), citados por YU (1999), que mostraram que a estimativa dos parâmetros de GAML a partir de características da textura do solo é usualmente inadequada.

Tabela 3 - Índice de confiança c' e desempenho do GAML em estimar a lâmina infiltrada (I) e a taxa de infiltração (T_i) nos três testes experimentais

Simulação		1º teste		2º teste		3º teste	
		c'	Desempenho	c'	Desempenho	c'	Desempenho
S1	I	0,98	Ótimo	0,89	Ótimo	0,76	Muito bom
	T_i	0,72	Bom	0,64	Mediano	0,66	Bom
S2	I	0,98	Ótimo	0,51	Sofrível	0,78	Muito bom
	T_i	0,79	Muito bom	0,21	Péssimo	0,66	Bom
S3	I	0,63	Mediano	0,30	Péssimo	0,41	Mau
	T_i	0,59	Sofrível	0,06	Péssimo	0,13	Péssimo
S4	I	0,61	Mediano	0,29	Péssimo	0,45	Mau
	T_i	0,52	Sofrível	0,01	Péssimo	0,15	Péssimo
S5	I	0,55	Sofrível	0,46	Mau	0,45	Mau
	T_i	0,38	Péssimo	0,28	Péssimo	0,14	Péssimo
S6	I	0,49	Mau	0,37	Péssimo	0,35	Péssimo
	T_i	0,22	Péssimo	0,15	Péssimo	0,01	Péssimo
S7	I	0,88	Ótimo	0,86	Ótimo	0,77	Muito bom
	T_i	0,80	Muito bom	0,80	Muito bom	0,65	Bom

Nota-se também que as simulações S2, S1 e S7 apresentaram resultados muito próximos, exceção feita à simulação S2 no 2º teste experimental que apresentou K_0 bem maior que a Tie , causando superestimativa de T_i e I. A proximidade entre as simulações deveu-se tanto à semelhança entre os valores de K_0 e Tie no 1º e 3º testes experimentais, bem como à proximidade entre os valores de θ_s e

θ_w , verificado pela relação θ_w/θ_s igual a 0,96, em média. O pior desempenho de S2, comparativamente a S1 e S7, no 2º teste experimental mais uma vez permite questionar o uso do valor de K_0 , determinado com o método do permeâmetro de carga constante, para a estimativa da infiltração, uma vez que as simulações S1 e S7 utilizam-se da Tie para estimar a condutividade hidráulica do perfil de solo. Assim sendo, recomenda-se que a Tie seja determinada usando-se simulador de chuvas para a estimativa da infiltração em área submetidas à irrigação por aspersão (COSTA et al., 1999) ou sob precipitação. Finalmente, o melhor desempenho geral nos três testes experimentais pode ser atribuído às simulações S1 e S7, sendo que S7 possui a tendência de sempre superestimar a infiltração, o que não foi observado na simulação feita utilizando-se a adequação proposta.

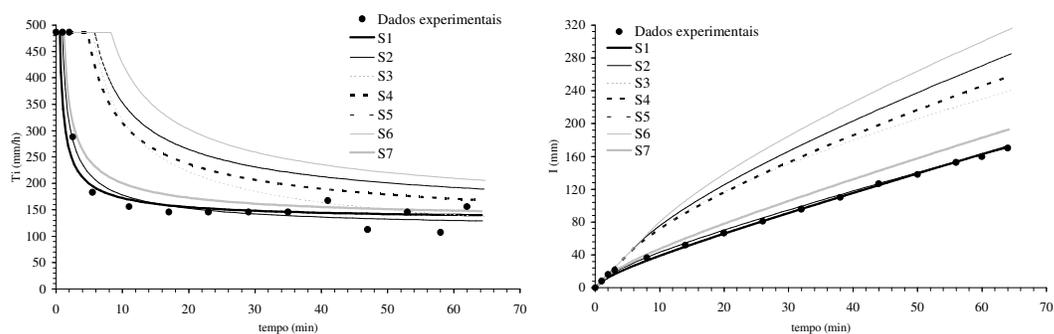


Figura 1 - Taxas de infiltração e infiltração acumulada medidas e estimadas para o primeiro teste.

CONCLUSÕES: O uso da Tie para representar a condutividade hidráulica do perfil do solo apresentou melhores resultados que o uso do valor de K_0 determinado por intermédio do método do permeâmetro de carga constante; a adequações dos parâmetros de entrada do GAML baseadas em equações empíricas não apresentaram bons resultados para a estimativa da infiltração; e a adequação dos parâmetros de entrada do modelo de GAML proposta foi capaz de prover boas estimativas da infiltração.

AGRADECIMENTOS: Ao CNPq e CAPES pelos auxílios financeiros.

REFERÊNCIAS:

- BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: UFV, 2002. 106p.
- BROOKS, R.H.; COREY, A.T. **Hydraulic properties of porous media**. Hydrologic Paper #3, Colorado State University. 26p. 1964.
- CAMARGO, Â.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- CECÍLIO, 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**, Campina Grande, v.7, n.3, p.415-422, 2003.
- COSTA, É.L.; SILVA, A.M.; COLOMBO, A.; ABREU, A.R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.131-134, 1999.
- MEIN, R.G.; LARSON, C.L. Modeling infiltration during a steady rain. **Water Resources Research**, v. 9, n. 4, p. 384-94, 1973.
- SILVA, C.L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.7, p.1149-1158, 1998.
- WILCOX, B.P.; RAWLS, W.J.; BRAKENSIEK, D.L.; WIGHT, J.R. Predicting runoff from rangeland catchments: a comparison of two models. **Water Resources Research**, v.26, p.2401-2410, 1990.
- YU, B. A comparison of the Green-Ampt and a spatially variable infiltration model for natural storm events. **Transactions of the ASAE**, v.42, n.1, p.88-97, 1999.