

## INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM LATOSSOLO SOB PASTAGEM: AVALIAÇÃO DE ADEQUAÇÕES DO MODELO DE GREEN-AMPT

**Renan Carvalho de JESUS<sup>1</sup>, Leonardo Nazário Silva dos SANTOS<sup>2</sup>, Roberto Avelino CECÍLIO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Ciências Agrárias, UFES/ Graduando de Agronomia, Alegre-ES, [carvalho20030@hotmail.com](mailto:carvalho20030@hotmail.com)

<sup>2</sup>Centro de Ciências Agrárias, UFES/ Mestrando em Produção Vegetal, Alegre-ES, [nazarioss@hotmail.com](mailto:nazarioss@hotmail.com)

<sup>3</sup>Centro de Ciências Agrárias, UFES/ Professor Adjunto, Alegre-ES, [rcecilio@yahoo.com.br](mailto:rcecilio@yahoo.com.br)

**Resumo:** O conhecimento da infiltração da água no solo é fundamental em diversas áreas de conhecimento no âmbito das Ciências Agrárias, principalmente para o manejo de bacias hidrográficas. Todavia, sua estimativa é extremamente complicada devido ao grande número de fatores que interferem no comportamento dos solos, o que leva à necessidade do uso de modelos de infiltração. O presente trabalho objetivou avaliar o modelo de infiltração de Green-Ampt aplicado para a estimativa da infiltração da água em uma área sob pastagem região de Alegre (ES). O modelo foi avaliado em sua forma de aplicação adequada segundo metodologias de correção propostas realizadas em artigos científicos constantes na literatura nacional. Os resultados mostraram que a metodologia de adequação que obteve melhor desempenho foi aquela proposta por Ataíde (2005).

**Palavras-chave:** infiltração; condutividade hidráulica; recursos hídricos; manejo de bacias hidrográficas; modelagem hidrológica.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias.

### Introdução

A infiltração é um dos processos que compõem o ciclo hidrológico, sendo definida como a passagem da água da superfície para o interior do solo. Inicialmente a infiltração ocorre em altas taxas, diminuindo com o tempo, até se tornar constante no momento em que o solo fica saturado. Assim sendo, sob chuva ou irrigação, a taxa de infiltração se aproxima gradualmente de um valor mínimo, conhecido por taxa de infiltração estável (Tie).

De acordo com Brandão et al. (2006), é da água que infiltra no solo e reabastece os aquíferos subterrâneos que dependem as vazões dos cursos d'água nos períodos de estiagem, o que torna a melhoria das condições de infiltração da água essencial para o aumento da disponibilidade hídrica.

A água infiltrada no solo também determina o balanço de água na zona radicular das culturas, sendo fator essencial para o planejamento e manejo da agricultura de sequeiro e, principalmente, para a agricultura irrigada. A estimativa do processo de infiltração é de fundamental importância para o manejo e conservação do solo e da água, por ser determinante da ocorrência do escoamento superficial, responsável por processos indesejáveis, como a erosão e as inundações. Deste modo, o conhecimento do processo de infiltração da água no solo fornece subsídios não apenas para o dimensionamento de estruturas de controle de erosão e de inundação, mas para definição de práticas de uso e manejo do solo que sejam capazes de reduzir a erosão do solo.

Para uma boa modelagem da infiltração é necessário o entendimento do processo e de suas relações com as propriedades do solo. Entretanto, a caracterização das variáveis que influenciam na infiltração é um processo demorado e difícil, pois a intensidade com que algumas variáveis afetam o processo, ainda hoje, não é bem definida, além do que os solos apresentam uma grande variabilidade espacial. Como resultado disto e das variações temporais das propriedades do solo, a infiltração é um processo cuja real complexidade pode ser considerada apenas de forma aproximada, mediante o uso de modelos baseados equações matemáticas.

Dentre os modelos existentes, aquele denominado modelo de Green-Ampt (MEIN & LARSON, 1973), consiste em um dos mais largamente empregados para estimativa da infiltração, o que se deve à sua relativa simplicidade física e por apresentarem bons resultados na estimativa da infiltração.

Podem-se destacar, entretanto, duas limitações para sua utilização: os parâmetros de entrada do modelo não representam efetivamente as condições reais de ocorrência da infiltração; e a dificuldade e pouca confiabilidade em seus métodos de determinação (CECÍLIO et al., 2003), fazendo-se necessário a adequação dos seus parâmetros de entrada.

Do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar metodologias de correção do modelo de Green-Ampt aplicado na estimativa da infiltração de água em solo sob pastagem na região de Alegre (ES).

## Metodologia

O procedimento experimental consistiu em conduzir ensaios destinados a medir a infiltração de água no solo sob o uso de pastagem; fazendo-se três repetições. Para tanto foi utilizada a metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos (Figura 1), descrita por Brandão et al. (2006).



Figura 1: Infiltrômetro de anéis concêntricos.

Os ensaios experimentais consistiram basicamente em determinar, em intervalos de tempo regulares, a lâmina de água infiltrada no solo (I), por meio de medidas da lâmina de água no anel interno do infiltrômetro, utilizando-se régua graduada.

A taxa de infiltração (Ti) foi obtida por intermédio da razão entre a variação da lâmina infiltrada ( $\Delta I$ ) e tempo decorrido entre duas medições sucessivas de lâmina infiltrada ( $\Delta t$ ), ou seja,  $Ti = \Delta I / \Delta t$ .

Antes do início de cada ensaio, foram retiradas nas adjacências das parcelas experimentais, amostras de solo para a determinação das seguintes características físicas: densidade aparente ( $d_a$ ), porosidade total ( $\phi$ ), macroporosidade ( $\mu$ ), umidade inicial ( $\theta_i$ ) e da curva de retenção de água no solo, seguindo as metodologias recomendadas por EMBRAPA (1997). Imediatamente após os ensaios foram retiradas amostras para a determinação da umidade de "saturação de campo" ( $\theta_w$ ).

Os valores de Ti medidos em cada teste experimental foram confrontados com valores simulados usando o modelo de Green-Ampt-Mein-Larson (equação 1), com os parâmetros de entrada adequados segundo as propostas feitas por Silva & Kato (1998), Mello (2003) e Ataíde (2005).

$$Ti = K_s \left[ 1 + \frac{\psi_f (\theta_w - \theta_i)}{I} \right] \quad (1)$$

em que:

- Ti = taxa de infiltração, mm h<sup>-1</sup>;
- K<sub>s</sub> = condutividade hidráulica do solo, mm h<sup>-1</sup>;
- $\psi_f$  = potencial matricial na frente de umedecimento, mm;
- $\theta_w$  = umidade de "saturação de campo" do solo, dm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup>;
- $\theta_i$  = umidade inicial do solo, dm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup>; e

I = lâmina infiltrada, mm.

Todas as três propostas de adequação dos parâmetros do modelo GAML, feitas por Silva & Kato (1998), Mello (2003) e Ataíde (2005), consideram que o valor da condutividade hidráulica do solo (K<sub>s</sub>), deve ser igual à taxa de infiltração estável (Tie), medida com o infiltrômetro de anéis. As três propostas apenas diferem-se na forma como é calculado o valor de  $\psi_f$ . Silva & Kato (2008) sugerem que  $\psi_f$  seja retirado da curva de retenção de água no solo para um valor de umidade igual à umidade inicial do solo, ou seja,  $\psi_f = \psi(\theta_i)$ . Mello (2003) sugere o uso da equação 2 e Ataíde (2005) sugere o uso da equação 3.

$$\begin{aligned} \psi_f &= 0,01 e^\alpha \\ \alpha &= 6,531 - 7,326 \phi + 15,8 C^2 + 3,809 \phi^2 + 3,44 S C - 4,989 S \phi + \\ &\quad + 16,15 S^2 \phi + 16 C^2 \phi^2 - 13,6 S^2 C - 34,8 C^2 \phi - 7,99 S^2 \phi \end{aligned} \quad (2)$$

$$\psi_f = -1151,78 + (3122,53\phi) - (4,27 Tie) + (1953,09 SILTE) \quad (3)$$

em que:

- C = fração argila do solo (Kg Kg<sup>-1</sup>);
- S = fração areia do solo (Kg Kg<sup>-1</sup>);
- Silte = fração silte e do solo (Kg Kg<sup>-1</sup>); e
- $\phi$  = porosidade total, dm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup>.

A avaliação do desempenho de cada simulação foi feita com o uso do índice de confiança (c), proposto por Camargo & Sentelhas (1997) e do coeficiente de eficiência ajustado (E'), proposto por Legates & McCabe Jr. (1999), a saber:

$$c = r \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^J (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (4)$$

$$E' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^J |O_i - E_i|}{\sum_{i=1}^J |O_i - \bar{O}|} \quad (5)$$

em que

- c = índice de confiança, adimensional;
- r = coeficiente de correlação entre valores simulados (estimados) e observados;
- O = valor observado da variável em análise;
- E = valor simulado (estimado) da variável em análise; e
- $\bar{O}$  = média dos valores observados da variável em análise.

## Resultados

A Tabela 1 mostra as avaliações do desempenho de cada simulação nos três testes experimentais realizados em cada área.

Os valores de  $d_a$ ,  $\phi$ ,  $\mu$ ,  $\theta_i$  e  $\theta_w$  são apresentados na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta a

análise granulométrica do solo. A curva de retenção é apresentada na Figura 2.

Tabela 1: Índice de confiança (c) e coeficiente de eficiência ajustado (E') para as simulações feitas em cada teste experimental

Simulação	Índice de confiança (c)			Coef. de eficiência ajustado (E')		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Silva & Kato (1998)	0,001	0,003	0,001	-2424	-656	-2081
Mello (2003)	0,401	0,427	0,399	-0,08	-0,06	-0,05
Ataide (2005)	0,800	0,754	0,798	0,26	0,46	0,05

Tabela 2: Características físicas do solo no uso de pastagem: densidade aparente ( $d_a$ ), porosidade total ( $\phi$ ), macroporosidade ( $\mu$ ), umidade inicial ( $\theta_i$ ) e umidade de "saturação de campo" ( $\theta_w$ )

$d_a$ (g cm <sup>-3</sup> )	$\phi$ (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	$\mu$ (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	$\theta_i$ (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	$\theta_w$ (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )
1,43	0,427	0,084	0,166	0,268

Tabela 3: Análise granulométrica do solo

Areia (Kg Kg <sup>-1</sup> )	Silte (Kg Kg <sup>-1</sup> )	Argila (Kg Kg <sup>-1</sup> )	Classificação textural
0,447	0,078	0,475	argilosa

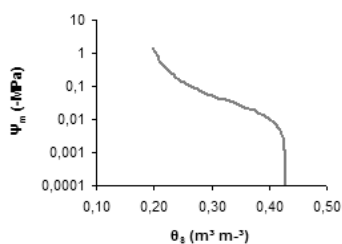


Figura 2: Curva de retenção de água no solo

As Figuras 3, 4 e 5 mostram as curvas de infiltração medidas experimentalmente e simuladas pelas adequações em cada teste experimental realizado na área com pastagem, confrontados com valores simulados usando o modelo GAML adequados segundo as propostas feitas por Mello (2003) e Ataíde (2005). As curvas simuladas pela adequação feita por Silva & Kato (1998) não são mostradas devido à questão de escala, pois seria impossível a visualização dos dados experimentais.

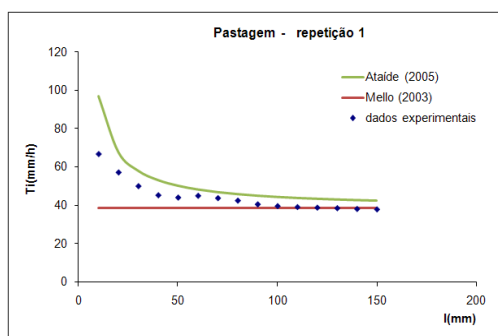


Figura 3: Curvas de infiltração medidas e simuladas na para repetição 1

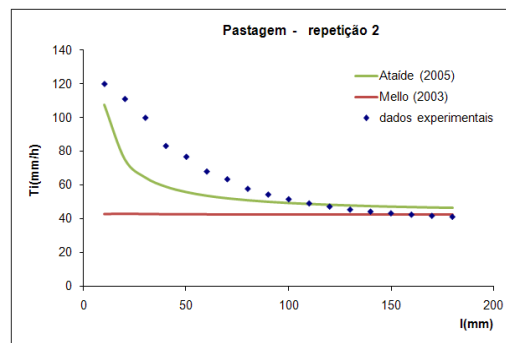


Figura 4: Curvas de infiltração medidas e simuladas na para repetição 2

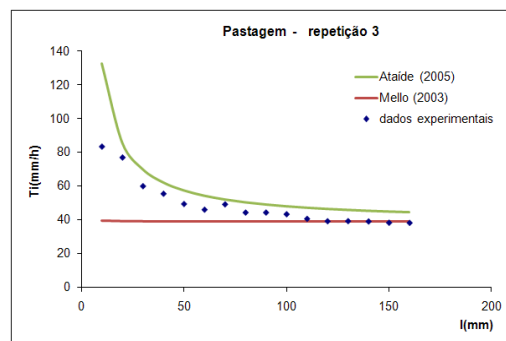


Figura 5: Curvas de infiltração medidas e simuladas na para repetição 3

## Discussão

Todas as simulações realizadas utilizando-se os parâmetros adequados conforme Silva & Kato (1998) apresentaram valores negativos para o índice E', o que, de acordo com Legates & McCabe Jr. (1999) demonstra ineficiência da estimativa realizada. Segundo os autores, valores negativos deste índice indicam que a média dos valores experimentais seria mais eficiente que a utilização da adequação considerada. O valor do índice c foi inferior a 0,40, faixa considerada como de pior desempenho (classificação: "péssimo") por Camargo & Sentelhas (1997).

A inadequação da proposta de Silva & Kato (1998) se deve ao fato de o valor de  $\psi_f$  estimado ser muito alto, o que simulou taxas de infiltração sempre muito superiores às mais alta taxa medida. Isto é devido à baixa umidade inicial do solo em todos os testes experimentais, que sempre foi inferior ao ponto de murcha permanente e, portanto, superior a 154 metros de coluna de água.

Valores negativos de E' foram evidenciados na adequação de Mello (2003) aplicada em solo com pastagem, indicando a ineficiência da adequação na situação citada. Os valores de c indicaram desempenho de mau ( $0,40 < c < 0,50$ ) a péssimo ( $c < 0,40$ ).

A melhor performance foi conseguida pela adequação proposta por Ataíde (2005), com

desempenho sempre igual a “muito bom” e valores de  $E'$  positivos. A boa adequação desta proposta deve-se ao fato de a proteção do solo propiciada pela pastagem sem pastoreio minimizar o selamento superficial, condição muito próxima àquela utilizada por Ataíde (2005) em seu estabelecimento.

### Conclusão

Com o que foi exposto, conclui - se que a estimativa de infiltração da água no solo é extremamente complicada devido ao grande número de fatores que interferem no comportamento dos solos. A metodologia de adequação que obteve melhor desempenho foi a proposta por Ataíde (2005), visto que a classificação do desempenho sempre foi igual a “muito bom” de acordo com o índice  $c$ , e valores de  $E'$  positivos, mostrando a eficiência da adequação.

As adequações propostas por Silva & Kato (1998) não obtiveram bom desempenho devido ao fato, que o valor de  $\psi_f$  estimado foram muito alto. O que simulou taxas de infiltração sempre muito superiores às mais alta taxa medida, devido à baixa umidade inicial do solo em todos os testes experimentais, que sempre foi inferior ao ponto de murcha permanente.

### Referências

- ATAÍDE, W.F. **Modelagem do potencial matricial na frente de umedecimento para a aplicação no modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 63p:il. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: Ed. UFV. 2006 . 120p.
- CAMARGO, Â.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **R. Bras. 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. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v.7, p.415-422, 2003.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de método e análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA-CNPQ, 212p., 1997.
- LEGATES, D.R.; MCCABE JR., G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation.

**Water Res. Research**, v.35, n.1, p.233-241, 1999.

MEIN, R.G.; LARSON, C.L. Modeling infiltration during a steady rain. **Water Res. Research**, v.9, n.2, p.384-394, 1973.

MELLO, L.T.A. **Avaliação de metodologias para obtenção dos parâmetros do modelo de Green-Ampt modificado por Mein e Larson**. 2003. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

SILVA, C.L.; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.33, n.7, p.1149-1158, 1998.