

## Estimativa da infiltração de água no solo através de pedofunções em área de floresta plantada

Schreiner, D. T.<sup>1</sup>; Vogelmann, E. S.<sup>2</sup>; Prevedello, J.<sup>2</sup>; Reichert, J. M.<sup>2</sup>; Reinert, D. J.<sup>2</sup>;  
Consensa, C. O. B.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, e-mail: [deboratasc@hotmail.com](mailto:deboratasc@hotmail.com).

Apresentador.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, [eduardovogelmann@hotmail.com](mailto:eduardovogelmann@hotmail.com),  
[juliprev@hotmail.com](mailto:juliprev@hotmail.com); [dalvanreinert@gmail.com](mailto:dalvanreinert@gmail.com); [jmreichert@googlemail.com](mailto:jmreichert@googlemail.com);  
[claudineohana@gmail.com](mailto:claudineohana@gmail.com).

### Resumo

Diversas equações e modelos podem representar matematicamente o processo da infiltração da água no solo. Este trabalho objetivou comparar os resultados da infiltração de água no solo observados no campo com os estimados pelos modelos de Kostiakov e Horton. O experimento foi conduzido na área experimental pertencente à FEPAGRO Florestas, no município de Santa Maria - RS. Os tratamentos avaliados consistiram em diferentes usos do solo: *Eucalyptus grandis* com 3 anos de idade; *Eucalyptus saligna* com 5 anos de idade; campo nativo 1 e campo nativo 2. A infiltração de água no solo foi determinada em setembro de 2010 com infiltrômetro de anel. O modelo de Horton ajustado com os coeficientes estimados pela pedofunção descreve satisfatoriamente a taxa de infiltração inicial de água no solo. O modelo Kostiakov ajustado pela pedofunção subestima a taxa de infiltração inicial, mas apresenta ajuste satisfatório com o passar do tempo. Em área de florestas plantadas a capacidade de infiltração de água no solo obtida através dos coeficientes determinados pelas pedofunções para o modelo de Kostiakov apresenta melhor desempenho em relação ao modelo de Horton.

### Introdução

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo através da superfície (LIBARDI, 2000). O conhecimento da infiltração da água no solo é fundamental para a solução de problemas relativos às áreas de irrigação e drenagem, conservação da água e do solo e controle do deflúvio superficial (FIORIN, 2008). À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superficiais do solo vão umedecendo em profundidade, alterando gradativamente o perfil de umidade. Segundo HILLEL (1998), a infiltração da água no solo é influenciada por diversos fatores, tais como: o conteúdo inicial de água, a condutividade hidráulica, a presença de camadas compactadas na

superfície ou de camadas impermeáveis no perfil do solo, e da duração do tempo da precipitação ou da irrigação.

O termo taxa de infiltração refere-se à quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo (HILLEL, 1998). Um gráfico relacionando a taxa de infiltração a partir de uma superfície inundada, com o tempo, é chamado de lei de infiltração e o valor final constante da taxa de infiltração é conhecido pelo nome de capacidade de infiltração (LIBARDI, 2000). Segundo ARAÚJO FILHO & RIBEIRO (1996), a determinação da capacidade de infiltração de água no solo serve de referência para a escolha dos métodos e sistemas de irrigação, sendo, portanto, uma variável relevante para definição do manejo agrícola em sistemas agrícolas.

Entre as equações desenvolvidas para representar matematicamente o processo da infiltração, as mais conhecidas são as de Kostiakov, Horton, Philip e Green-Ampt (HILLEL, 1998). Assim, este trabalho tem por objetivo comparar os resultados da infiltração de água no solo observados no campo com os estimados pelos modelos de Kostiakov e Horton, com a estimativa dos coeficientes das equações por pedofunções.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área experimental pertencente à FEPAGRO Florestas, no município de Santa Maria - RS. Os tratamentos avaliados consistiram em diferentes usos do solo: *Eucalyptus grandis* com 3 anos de idade (EG); *Eucalyptus saligna* com 5 anos de idade (ES); campo nativo 1 próximo ao EG (CN1) e campo nativo 2 próximo ao ES (CN2). As principais características físicas do solo para a camada superficial (0,00-0,10 m), nos diferentes tratamentos estão descritas na Tabela 1.

A infiltração de água no solo foi determinada em setembro de 2010 com infiltrômetro de anel e seguiu-se a metodologia descrita por EMBRAPA (1997). As leituras foram realizadas nos tempos de 0, 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos após o início do teste. As observações de infiltração acumuladas ao longo do tempo foram computadas e convertidas em taxas de infiltração correspondente.

**Tabela 1.** Composição granulométrica, densidade de partícula (dp), densidade do solo (ds), porosidade total (pt), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) dos solos estudados.

| Tratamento | Argila<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Silte<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | Areia<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | dp<br>(g cm <sup>-3</sup> ) | ds<br>(Mg m <sup>-3</sup> ) | pt<br>(m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> ) | Macro<br>(m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> ) | Micro<br>(m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup> ) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| EG         | 170                             | 180                            | 640                            | 2,54                        | 1,36                        | 0,36                                     | 0,20                                        | 0,16                                        |
| ES         | 150                             | 160                            | 680                            | 2,54                        | 1,36                        | 0,41                                     | 0,14                                        | 0,27                                        |
| CN1        | 190                             | 150                            | 660                            | 2,54                        | 1,29                        | 0,46                                     | 0,19                                        | 0,28                                        |
| CN2        | 180                             | 160                            | 660                            | 2,54                        | 1,34                        | 0,42                                     | 0,11                                        | 0,31                                        |

Para calcular a infiltração acumulada e a taxa de infiltração de água no solo, utilizou-se a equação desenvolvida por Kostiakov (LIBARDI, 2000):

$$I = a t^b$$

onde:  $I$  é a lâmina infiltrada (mm) no tempo  $t$ ,  $a$  e  $b$  são parâmetros do modelo e dependem do tipo de solo. Derivando a equação anterior, obtém-se:

$$i = a b t^{b-1}$$

onde:  $i$  é a taxa de infiltração da água no solo ( $\text{mm h}^{-1}$ ). Os coeficientes  $a$  e  $b$  foram determinados por regressão linear entre os valores da infiltração acumulada de água e o tempo acumulado.

A taxa de infiltração, segundo o modelo de Horton (LIBARDI, 2000), é definida pela equação abaixo:

$$i = i_f + (i_i - i_f) e^{-\beta t}$$

onde:  $i$  é a taxa de infiltração da água no solo,  $i_f$  é o valor constante corresponde à taxa de infiltração estável,  $i_i$  é a taxa de infiltração inicial,  $\beta$  é a constante de decaimento e  $t$  é o tempo, em minutos.

$$i = i_f + \frac{(i_i - i_f)}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$

Foram ainda realizadas estimativas dos parâmetros  $a$  e  $b$  do modelo de Kostiakov segundo Fiorin (2008). Como o solo apresentava teor de argila variando de 17 a 19% foram utilizados os modelos ajustados para solos com teor de argila inferior a 40%.

Na estimativa do expoente  $a$ , foi utilizada a seguinte equação:

$$a'_{arg<40\%} = -0,934 + 0,561dp + 0,002arg - 1,445 \theta_i,$$

onde:  $a'_{arg<40\%}$  é o coeficiente  $a$  do modelo de Kostiakov, para os solos com teor de argila inferior a 40%;  $dp$  é a densidade de partícula, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;  $arg$  é o teor de argila, em %;  $sil$  é o teor de silte, em %;  $\theta_i$  é a conteúdo volumétrico inicial de água no solo, em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

Na estimativa do expoente  $b$ , foi utilizada a equação de regressão, expressa da seguinte forma:

$$b'_{arg<40\%} = -1,656 + 0,504dp + 0,012sil + 0,010ar + 0,597 \theta_i,$$

onde:  $b'_{arg<40\%}$  é o expoente  $b$  do modelo de Kostiakov, para os solos com teor de argila inferior a 40%;  $a$  é o expoente  $a$  do modelo de Kostiakov;  $dp$  é a densidade de partícula, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;  $mip$  é a microporosidade, em %;  $arg$  é o teor de argila, em %;  $sil$  é o teor de silte, em %;  $ar$  é o teor de areia, em %;  $\theta_i$  é a conteúdo volumétrico de água inicial no solo, em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

Foram também ajustados modelos matemáticos de acordo com o descrito por Fiorin (2008), para a estimativa do expoente  $if$  do modelo de Horton, expressa da seguinte forma:

$$If' = -434,53 + 26,55ds + 176,59dp + 0,86arg - 217,32 \theta i$$

onde,  $if'$  é o coeficiente  $if$  estimado do modelo de Horton;  $ds$  é a densidade do solo, em  $g\ cm^{-3}$ ;  $dp$  é a densidade de partícula, em  $g\ cm^{-3}$ ;  $arg$  é o teor de argila, em %;  $\theta i$  é o conteúdo volumétrico de água inicial no solo, em  $cm^3\ cm^{-3}$ .

Para estimativa do expoente  $(Ii-If)$  do modelo Horton foi expresso da seguinte forma:

$$(Ii-If)' = 57,52 + 7,88if - 94,15 \theta i$$

onde:  $(Ii-If)'$  é o coeficiente  $(Ii-If)$  do modelo de Horton,  $if$  é o coeficiente  $if$  do modelo de Horton,  $\theta i$  é o conteúdo inicial de água no solo, em  $cm^3\ cm^{-3}$ .

Para estimativa do coeficiente  $\beta$  do modelo de Horton utilizou-se a equação de regressão, expressa da seguinte forma:

$$\beta'arg < 40\% = 0,753 - 0,471if + 0,396(Ii-If) - 0,034ar + 5,042 \theta i$$

onde:  $\beta'arg > 40\%$  é o coeficiente  $\beta$  do modelo de Horton, para os solos com teor de areia inferior a 40%,  $if$  é o coeficiente  $if$  do modelo de Horton,  $(Ii-If)$  é o coeficiente  $(Ii-If)$  do modelo de Horton,  $ds$  é a densidade do solo, em  $g\ cm^{-3}$ ,  $dp$  é a densidade de partícula, em  $g\ cm^{-3}$ ,  $ar$  é o teor de areia, em %;  $\theta i$  é o conteúdo volumétrico de água inicial no solo, em  $cm^3\ cm^{-3}$ .

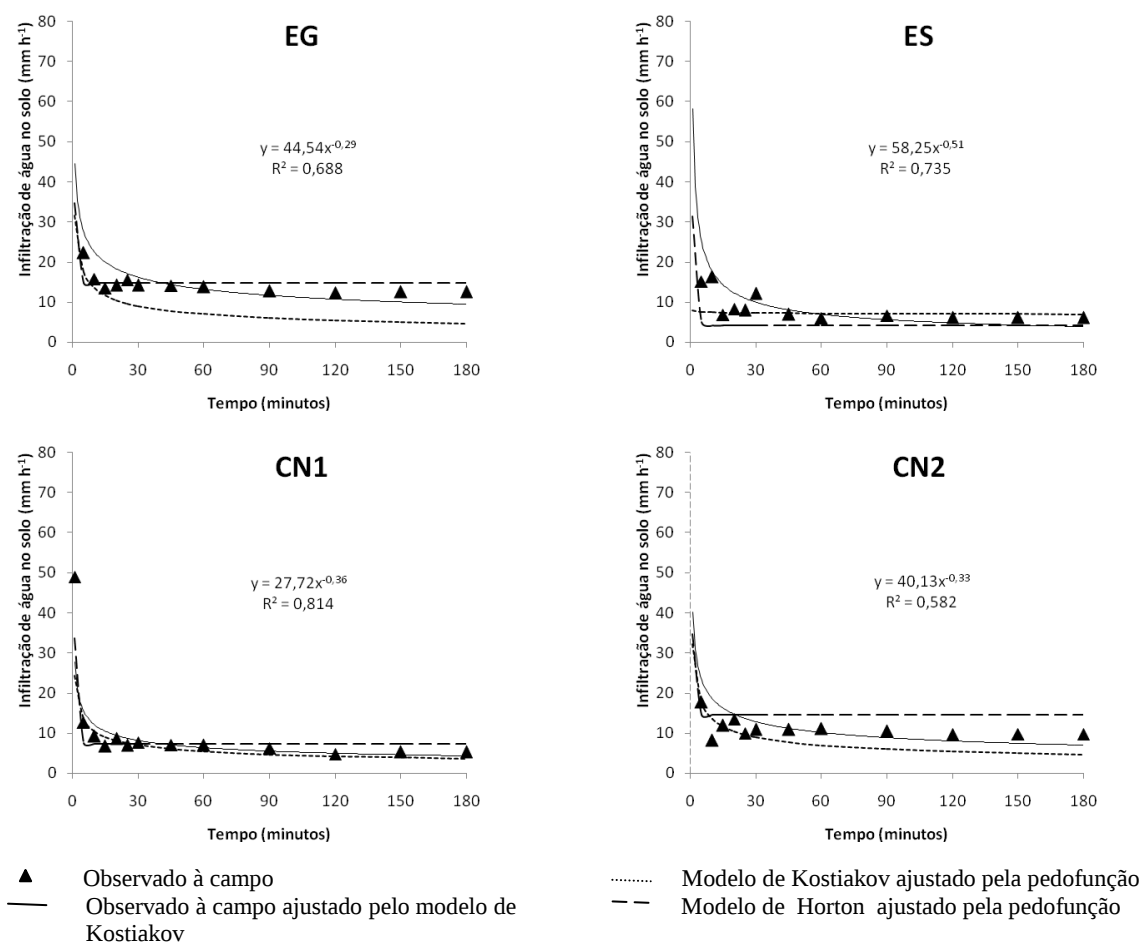
## Resultados e discussão

As comparações entre os valores da taxa de infiltração de água no solo observados no campo e os valores estimados pelas pedofunções para os modelos de Kostiakov e Horton estão apresentadas na Figura 1. Os valores estimados da taxa de infiltração de água no solo pela pedofunção para o modelo de Kostiakov apresentaram um melhor desempenho quando comparado ao ajustado pelo modelo de Horton, corroborando com os resultados obtidos por Fiorin (2008).

Observa-se uma superestimativa na taxa de infiltração inicial de água para o modelo de Horton ajustado pelas pedofunções nos tratamentos EG, CN1 e CN2. Para o modelo de Kostiakov, observou-se subestimativa da taxa de infiltração nos tratamentos EG, CN1 e CN2 (Figura 1). Segundo BRANDÃO et al. (2004), o infiltrômetro de anel superestima a taxa de infiltração em relação ao simulador de chuvas devido ao encrustamento da superfície do solo sob chuva simulada, enquanto que no infiltrômetro de anel isso não ocorre, uma vez que não existe o impacto das gotas da chuva contra a superfície do solo.

O modelo de Horton ajustado pelos valores estimados descreveu satisfatoriamente a taxa de infiltração inicial, apresentando valores próximos aos observados; porém, com o passar do tempo, ocorre subestimação da mesma. O modelo de Kostiakov subestimou a taxa inicial de infiltração, mas ocorreu ajuste satisfatório com o passar do tempo. Isso concorda com o encontrado por Fiorin (2008),

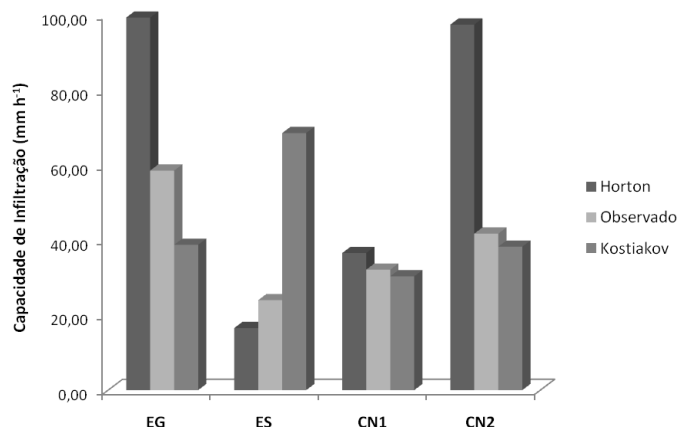
o qual descreve melhor ajuste dos valores estimados com os observados para Argissolos e Latossolos através do modelo proposto por Kostiakov.



**Figura 1.** Comparação da taxa de infiltração de água no solo entre os resultados observados à campo e os modelos de Kostiakov e Horton ajustados com os coeficientes estimados pelas pedofunções. (EG) *Eucalyptus grandis* com 3 anos de idade; (CN1) campo nativo 1 próximo ao EG; (ES) *Eucalyptus saligna* com 5 anos de idade; (CN2) campo nativo 2 próximo ao ES.

A capacidade de infiltração obtida pelo modelo de Horton mostra valores superiores ao observado, enquanto os estimados por Kostiakov ajustaram-se satisfatoriamente aos dados observados a campo nos tratamentos EG, CN1 e CN2 (Figura 2).

A determinação da capacidade de infiltração de água no solo pelo método do infiltrômetro de anel, além de ser onerosa, demanda bastante tempo. Dessa forma, o uso de pedofunções é uma forma rápida e prática para estimar a capacidade e taxa de infiltração de água no solo, gerando resultados satisfatórios.



**Figura 2.** Comparação da capacidade de infiltração de água no solo entre os valores estimados pelas pedofunções para os modelos de Kostiakov e Horton com os resultados observados no campo.

### Conclusões

O modelo de Horton ajustado pelos coeficientes estimados pela pedofunção, descreve satisfatoriamente a taxa de infiltração inicial de água no solo. O modelo Kostiakov ajustado pela pedofunção subestima a taxa de infiltração inicial mas apresenta ajuste satisfatório com o passar do tempo.

Em área de florestas plantadas, a capacidade de infiltração de água no solo obtida com o uso dos coeficientes determinados pelas pedofunções para o modelo de Kostiakov apresenta melhor desempenho em relação ao modelo de Horton.

### Literatura Citada

- ARAÚJO FILHO, J. C. de; RIBEIRO, M.R. Infiltração de água em Cambissolos do baixo de Irecê (BA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, p.363-370, 1996.
- BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.P.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: 2 ed. UFV, 2004. 98p.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA Solos. 1997. 212 p.
- FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo através de pedofunções**. 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. 771p.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba, 2000. 509p.