

Avaliação dos modelos de Horton e de Kostiakov para estimativa da infiltração de água no solo

Evaluation of Horton and Kostiakov models for estimating soil water infiltration

Robert William Florentino¹; Gabriel Ribeiro Tito Coelho²; Murilo Henrique Zilch²; Tatiane Bonametti Veiga³; Kelly Geronazzo Martins³; Ana Carolina Barbosa Kummer³

¹Mestrando em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: 0009-0004-3261-8785. E-mail: robertwilliam1517@gmail.com

²Engenheiro Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil.

Orcid: 0009-0005-9830-0726. E-mail: coelho.r.t.gabriel@gmail.com;

Orcid: 0009-0006-5407-9115. E-mail: mhenriquezilch@gmail.com

³Professora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6919-4013>. E-mail: tati.veiga@yahoo.com.br; Orcid: 0000-0002-0447-4444. E-mail: kellygm77@gmail.com; Orcid: 0000-0002-9415-3029.

E-mail: ackummer@unicentro.br

RESUMO: A infiltração de água no solo exerce importante papel na conservação e manejo adequados do solo e da água. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da infiltração de água no solo, estimada pelos modelos de Horton e Kostiakov. Para determinação da infiltração, empregou-se o método do infiltrômetro de duplo anel. Paralelamente ao ensaio, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, para determinação da umidade do solo. Foram calculadas a infiltração acumulada (IA) e as taxas de infiltração instantâneas por intervalo de tempo (TiR), bem como efetuou-se o ajuste das equações que descrevem os fenômenos, conforme os modelos de Horton e Kostiakov. Se observou elevada taxa de infiltração de água no início do processo, que pode ser resultante da baixa umidade na camada superficial do solo. Ambos os modelos tendem a subestimar o valor inicial da taxa de infiltração. No entanto, observa-se que até 25 minutos, o modelo de Horton tende a superestimar a maioria dos valores das infiltrações instantâneas. Já o modelo de Kostiakov tende a superestimar a maior parte dos valores das taxas de infiltração instantâneas a partir de 80 minutos. Apesar da grande oscilação nos valores das TiR no solo, os modelos descreveram de forma satisfatória o comportamento da taxa de infiltração na área experimental e por meio da análise do mapa de calor, entende-se que o modelo de Kostiakov é o que mais se aproxima da infiltração real.

Palavras-chave: Infiltrômetro; Taxa de infiltração; Cambissolo.

ABSTRACT: *Water infiltration into the soil plays key role in proper soil and water conservation and management processes. The aim of the current study is to assess water behavior in soil infiltration processes by using the Horton and Kostiakov models. Double-ring infiltrometer method was used to determine water infiltration into the soil. In addition, soil samples were collected at depths of 0-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm, to determine soil moisture. Cumulative infiltration (IA) and instantaneous infiltration rates per time interval (TiR) were calculated. Equations describing the investigated phenomena were adjusted, according to the Horton and Kostiakov models. High water infiltration rate was observed at the beginning of the process, likely due to low moisture level at the top soil layer. Both models tend to underestimate the initial infiltration rate value. However, the Horton model tends to overestimate most of the instantaneous infiltration values up to 25 minutes. The Kostiakov model, on the other hand, tends to overestimate most of the instantaneous infiltration rate values after 80 minutes. Despite the large fluctuation observed in TiR values in the soil, the assessed models have satisfactorily described the infiltration behavior at the experimental site. Based on the heat map analysis, the Kostiakov model was the one capable of determining the infiltration values closest to actual one.*

Keywords: *Infiltrometer; Infiltration rate; Cambisol.*

INTRODUÇÃO

A dinâmica da água no solo é um processo contínuo e de fundamental importância, tanto para os estudos relativos ao escoamento superficial e inundações, principalmente em áreas urbanizadas, quanto para os estudos em áreas agricultáveis, uma vez que pode interferir na disponibilidade hídrica e de nutrientes para as plantas, podendo ser descrito, entre outros, pela infiltração de água no solo (NETTO et al., 2000), que segundo Cecílio et al. (2013), refere-se ao processo pelo qual a água da superfície passa para o interior do meio.

Diversos fatores podem influenciar o processo de infiltração, tais como: características da precipitação (intensidade e volume), propriedades físicas do solo (textura, estrutura, grau de compactação), método de manejo agrícola (plantio convencional, direto ou pastagem) (SANTOS; PEREIRA, 2013; BRANDÃO et al., 2006; MANCUSO et al., 2014).

Em áreas cultivadas, alguns métodos de preparo do solo podem favorecer a compactação do meio, reduzindo a capacidade de infiltração de água, que para Oliveira, Silva e Mello (2020), pode provocar o aumento do escoamento superficial e impedir o processo de recarga do lençol freático. Além disso, pode oportunizar a ocorrência da erosão hídrica, já que a retirada da cobertura do solo promove a exposição da superfície, deixando-o sujeito à ação das precipitações (PANACHUKI et al., 2011).

O estudo do comportamento da infiltração de água no solo, por meio da taxa de infiltração, é fundamental para a implantação de medidas que promovam a conservação do solo, para o planejamento de projetos de drenagem e para a geração de dados que possam estimar o real potencial de armazenamento de água no solo (PAIXÃO et al., 2009).

Dentre os métodos existentes para determinação da infiltração, o mais utilizado é o método do infiltrômetro de anel, pela facilidade de execução (GONDIM et al., 2010). O referido método consiste na utilização de dois cilindros com diâmetros diferentes, sendo um interno e outro externo, esse com a finalidade reduzir a saída da água infiltrada lateralmente pelo cilindro interno (FAGUNDES et al., 2012; BAZZO; HORN, 2017). Dessa forma, as leituras da infiltração, em tempos pré-estabelecidos, são realizadas no cilindro de menor diâmetro, garantindo a avaliação da água infiltrada verticalmente no meio.

O processo de infiltração pode também ser retratado por meio de modelos matemáticos físicos ou empíricos (FELIZARDO et al., 2020), com destaque para os modelos de Horton e de Kostiakov, cujos parâmetros podem ser calculados utilizando-se equações teóricas ou estimados a partir de regressão, com base em dados de infiltração pré-determinados em campo (TOMASINI et al., 2010). O modelo empírico de Horton, descrito na forma de uma função exponencial, muito utilizado, pois se apresenta como um bom preditor do comportamento da infiltração de água no solo (PAIXÃO et al., 2009; MELLEK et al., 2014). Já o modelo de Kostiakov se utiliza de uma equação potencial para estimar a infiltração acumulada ou a taxa de infiltração em função do tempo, apresentando como limitações não poder ser aplicada em solos diferentes daquele que possibilitou a estimativa dos parâmetros da equação, bem como em solos que apresentam condições de umidade inicial diferentes daquelas em que os parâmetros foram determinados (ALMEIDA, 2017).

Oliveira, Soares e Holanda (2018), salientam que o método e/ou modelo utilizado pode variar conforme com a região em que é aplicado, sendo necessários estudos do comportamento da infiltração (in loco e avaliações com diferentes modelos) que indiquem qual modelo é mais preciso para a região de interesse.

Os resultados dos estudos relativos ao comportamento da infiltração, podem ser traduzidos na forma de curvas de infiltração, que podem ser utilizadas em estudos hidrológicos e projetos de dimensionamento de drenagem urbana ou irrigação (FELIZARDO et al., 2020).

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo verificar a adequabilidade dos modelos de Horton e de Kostiakov para prever o comportamento da infiltração de água em Cambissolo, em área próxima à região de cultivo, em Irati-PR.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo foi desenvolvido em um local próximo a áreas particulares de cultivo agrícola, na Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, *campus* Irati-PR. O solo da região é originalmente classificado como Cambissolo, caracterizado por apresentar material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (EMBRAPA, 2018). A área delimitada para o estudo encontrava-se em pousio, apresentando uma fina camada de material orgânico composta principalmente por folhas de árvores.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, com verões amenos e invernos com ocorrência frequente de geadas severas (IRATI, 2020). A precipitação média anual é de 1.430 mm e a temperatura média anual é de 18°C (CLIMATE-DATE, 2019).

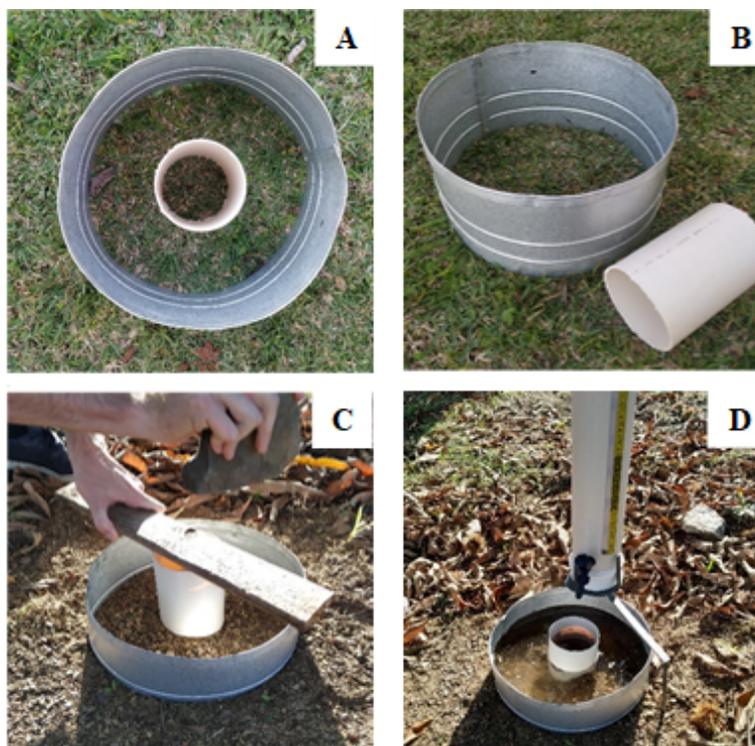
Avaliação da infiltração de água no solo

Para o estudo do comportamento da infiltração de água no solo, empregou-se o método do infiltrômetro de duplo anel, com aplicação de água por inundação, conforme descrito por Bernardo, Soares e Mantovani (2006) e Garcez e Alvarez (1988). Os cilindros, de 10 cm e 30 cm de diâmetro e altura igual a 15 cm (**Figura 1A e B**), foram cravados concêntricamente no solo a uma profundidade de aproximadamente 5 cm (**Figura 1C**). Sobre os cilindros foi instalado um mini reservatório de água de PVC, com 10 cm de diâmetro e volume útil de 0,186 m³ (**Figura 1D**). A **Tabela 1** apresenta os respectivos tempos de ensaio e cada intervalo de tempo utilizado para realizar a leitura da lâmina de água infiltrada.

Tabela 1. Intervalo de tempo para as leituras do rebaixamento de água no ensaio de infiltração.

Tempo de ensaio (minutos)	Intervalo de tempo para as leituras na régua (minutos)
0 a 10	1
10 a 38	2
38 a 59	3
59 a 163	4
163 a 193	5

Figura 1. Conjunto de anéis concêntricos (A e B); instalação dos cilindros na área experimental (C); conjunto de anéis instalados no solo com o mini reservatório (D).



Infiltração acumulada e taxa de infiltração real

Com os dados de infiltração obtidos no ensaio de campo, foram calculadas a infiltração acumulada (IA) e as taxas de infiltração instantâneas (TiR) por intervalo de tempo, bem como efetuou-se o ajuste das equações que descrevem os fenômenos, conforme os modelos propostos por Horton e Kostiakov (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Dessa forma, a taxa de infiltração vertical real do solo (TiR) foi calculada pela seguinte expressão (Equação 1):

$$TiR = \frac{\text{lâmina infiltrada}}{\text{intervalo de tempo}} \quad (1)$$

Em que: TiR é a taxa de infiltração de água no solo, em mm.h^{-1} ; lâmina Infiltrada é a quantidade de água infiltrada em um intervalo de tempo, em mm; e o intervalo de tempo representa o intervalo de tempo para as leituras da infiltração de água no solo, em horas.

A partir da determinação das taxas de infiltração reais, foram estimadas as taxas de infiltração pela equação de Horton, dada pela equação 2:

$$f = fc + (f_0 - fc) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (2)$$

Em que: f é a taxa de infiltração em um instante qualquer, em mm.h^{-1} ; fc é a taxa de infiltração final, em mm.h^{-1} ; f_0 é a taxa de infiltração inicial, em mm.h^{-1} ; k é a constante de decaimento da infiltração; e t é o tempo de infiltração considerado, em horas.

A infiltração acumulada (I) foi descrita pela Equação Potencial (ou de Kostiakov – 1932), dada pela equação 3:

$$I = k \cdot t^a \quad (3)$$

Em que: I é a infiltração acumulada, em cm; k é a constante que depende do solo; t é o tempo de infiltração, em minutos; e a é a constante que depende do solo, variando entre 0 a 1.

Dessa forma, derivando a Equação Potencial que descreve a infiltração acumulada, obteve-se a taxa de infiltração estimada pelo modelo de Kostiakov, dada pela equação 4:

$$TiE = a \cdot k \cdot t^{a-1} \quad (4)$$

Umidade inicial do solo

Como estudos têm apontado para a interferência da umidade do solo na taxa de infiltração inicial, assim como na infiltração acumulada (PANACHUKI et al. 2006; ALMEIDA et al.; 2020), no mesmo dia de realização do ensaio e próximo aos cilindros instalados, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, para determinação da umidade atual.

Assim, para determinação da umidade antecedente aos testes de infiltração na área experimental, utilizou-se o método gravimétrico (MOREIRA; TEIXEIRA; DONAGEMMA, 2017) descrito pela Equação 5:

$$U(\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) = \frac{M_a}{M_s} \quad \text{ou} \quad U(\%) = \frac{M_a}{M_s} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que: U corresponde ao conteúdo de umidade na amostra, em $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ou %; M_s é a massa da amostra seca a 105 °C até atingir peso constante, em g; e M_a refere-se à massa de água na amostra, em g, dada pela diferença entre a massa de amostra úmida (nas condições em que foi coletada em campo) e a massa da amostra seca.

Análises dos resultados

Utilizou-se o método da regressão para avaliar o comportamento da infiltração de água acumulada no solo ao longo do tempo. A infiltração de água estimada pelos modelos, foi avaliada comparando-se as curvas das taxas de infiltração reais com as taxas de infiltração estimadas, em função do tempo, plotadas em um gráfico.

Os parâmetros do modelo de Horton foram estimados minimizando a soma do quadrado das diferenças entre os valores reais e os valores de infiltração estimados pelo modelo, por meio da ferramenta *solver* do Excel. Já os coeficientes “a” e “k” do modelo de Kostiakov, foram determinados pelo método da regressão linear descrita por Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a partir dos valores determinados em campo.

Os modelos de Horton e Kostiakov foram comparados através do coeficiente de determinação (R^2), erro quadrático médio (EQM) e erro médio absoluto (EMA).

Todos os dados foram submetidos a uma análise de agrupamento do tipo hierárquica com algoritmo K-means, com objetivo de distinguir que modelo mais se aproxima do comportamento real.

Esta técnica foi escolhida porque não necessita de premissas de gaussianidade, homogeneidade de variâncias e nem de independência de amostras.

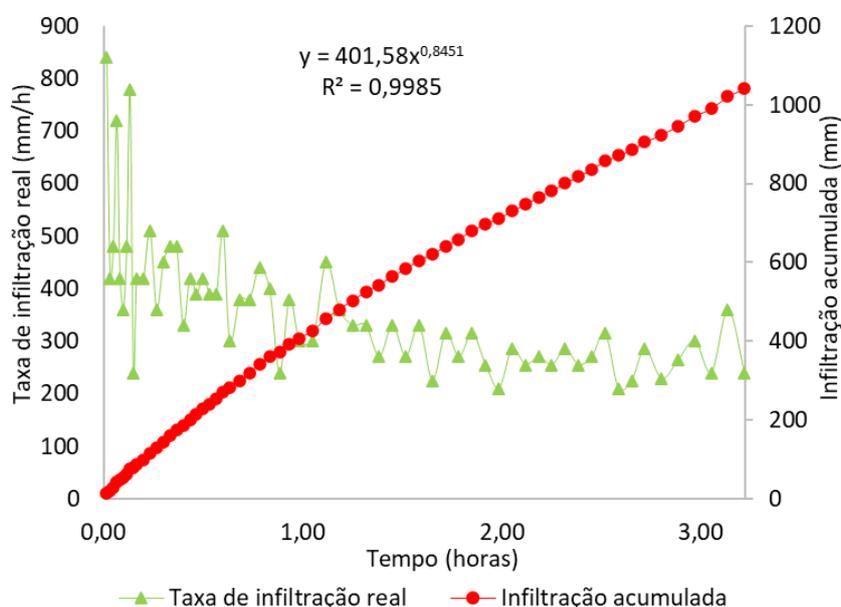
Em conjunto com o agrupamento hierárquico foi confeccionado um mapa de calor o qual descreve por meio de variações gradativas de cores os valores obtidos na pesquisa,

onde valores maiores são representados por cores intensas, e valores menores, por cores suaves. As análises foram efetuadas com o auxílio do RStudio (R Core Team, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **Figura 2** são apresentados os resultados da infiltração acumulada (IA) e das taxas de infiltração instantâneas reais de água no solo em função do tempo.

Figura 2. Infiltração acumulada e taxa de infiltração real de água no solo em função do tempo.



Como esperado, comportamento inverso entre a taxa de infiltração e a infiltração de água acumulada no solo, foi verificado neste estudo, com total acumulado de 1.041 mm em pouco mais de 3 horas de ensaio (193 minutos). Valores de IA próximos ao deste estudo foram encontrados por Gondim et al. (2010), estudando a infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel, que observaram uma infiltração acumulada total de 1.184 mm em um período de ensaio maior (7 horas de 25 minutos).

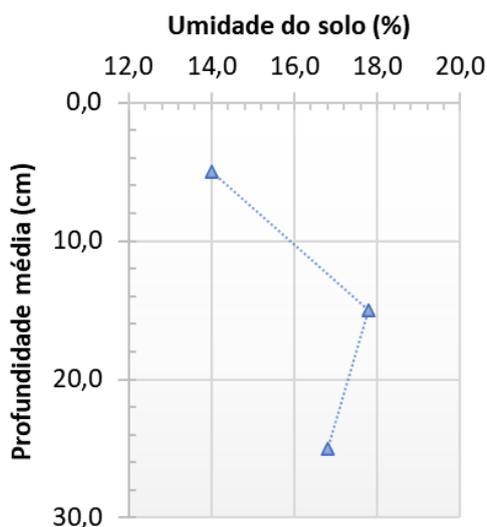
A curva representativa da IA apresentou um bom ajuste, com coeficiente de determinação igual 99%, sendo representada pela equação: $IA = 401,58.T^{0,8451}$ (com T em horas), o que demonstra que a equação ajustada pode prever com grande precisão o comportamento da infiltração de água no solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2019), que estudando a infiltração no solo por meio do modelo de Kostiaikov, encontraram R^2 superior à 95% para o ajuste das equações da IA em diferentes sistemas de manejo (floresta, floresta-lavoura, rotação de cultura e pastagem). Nunes et al. (2012), também identificaram bom ajuste da equação da IA, com R^2 igual à 99% tanto para solo descoberto quanto para pastagem, reforçando a percepção de que o modelo é um bom preditor do comportamento da infiltração de água acumulada no solo.

Trabalhando em Cambissolo no semiárido, Almeida et al. (2020), determinaram IA de 20,2 cm e 53,09 cm em solo úmido e seco, respectivamente, em pouco mais que 2 horas, sugerindo que a umidade antecedente no solo interfere no resultado da IA final.

Quanto mais seco o solo, maior é a capacidade de infiltração. Nesse sentido, observa-se, por meio da **Figura 3**, que o solo se encontrava mais seco na camada superficial (0-10 cm), o que pode justificar os valores elevados tanto da taxa de infiltração inicial ($840,0 \text{ mm.h}^{-1}$), quanto da infiltração acumulada final (1,041 mm), determinado em campo.

Figura 3. Umidade do solo (%) em função da profundidade.



A quantidade de água presente inicialmente no meio interfere no processo de infiltração (PANACHUKI et al. 2006; ALMEIDA et al. 2020), bem como outros fatores, tais como a cobertura vegetal, tipo de solo e características das propriedades físicas do solo (OLIVEIRA; SOARES; HOLANDA, 2018). Dessa forma, relacionar os resultados encontrados com parâmetros físicos do solo, poderia explicar melhor o comportamento da infiltração neste estudo.

Com base nos dados da TiR, efetuou-se a estimativa dos parâmetros do modelo de Horton, gerando-se a equação ajustada que descreve o comportamento da taxa de infiltração instantânea em função do tempo, dada por $f = 261,01 + (551,65 - 261,01) \cdot e^{-1,41 \cdot t}$ ou ainda $f = 261,01 + (290,64) \cdot e^{-1,41 \cdot t}$, com t em horas. Conforme o modelo, a taxa de infiltração final (f_c) foi de $261,01 \text{ mm.h}^{-1}$ e a taxa de infiltração inicial (f_0) foi de $551,65 \text{ mm.h}^{-1}$, o que segundo Brito et al. (1996), corresponde também à taxa de infiltração estável e/ou velocidade de infiltração básica (VIB) do solo. Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006) essa VIB pode ser classificada como muito alta, uma vez que o valor encontrado foi superior à 30 mm.h^{-1} .

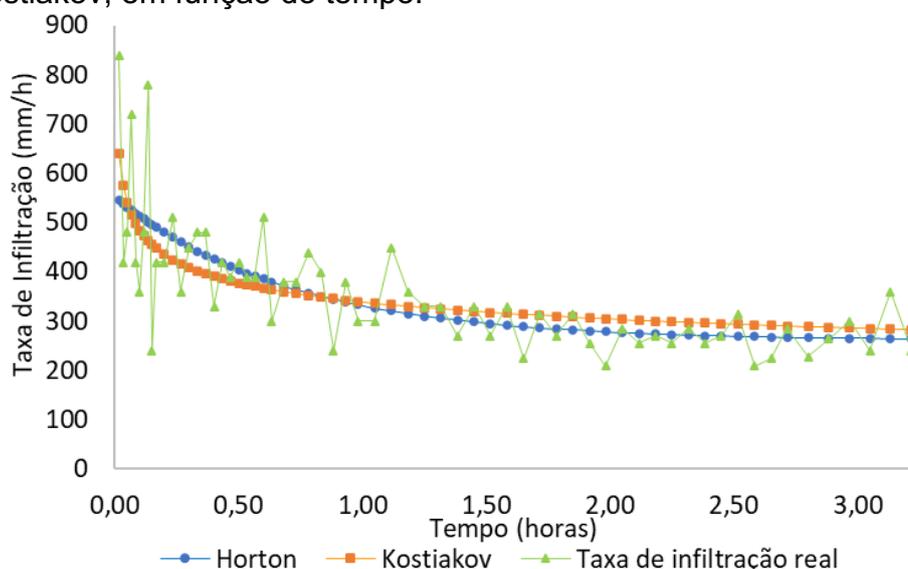
Na **Figura 4** estão plotadas as curvas representativas do comportamento da taxa de infiltração instantânea real (TiR) e das estimadas (TiE) pelos modelos de Horton e de Kostiakov.

De maneira geral, tanto a TiR quanto as TiE de água no solo, se apresentaram elevadas no início do processo, decrescendo ao longo do tempo. Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), com o passar o tempo a taxa de infiltração diminui

gradativamente até um valor constante, chamada de VIB. Embora matematicamente a equação de Horton ajustada tenha apontado a VIB como $261,01 \text{ mm.h}^{-1}$, ao analisar a **Figura 4** não é possível observar estabilização na TiR.

Ao longo do tempo, os resultados da TiR oscilaram muito entre valores superiores e inferiores aos das taxas de infiltração estimadas. A TiR inicial foi de 840 mm.h^{-1} , enquanto a TiE por Horton foi de 545 mm.h^{-1} , indicando que o modelo tende a subestimar o valor inicial da taxa de infiltração. No entanto, observa-se que até 25 minutos, o modelo tende a superestimar maioria dos valores das taxas de infiltração instantâneas reais.

Figura 4. Curvas das taxas de infiltração real (TiR) e estimadas (TiE) pelos modelos de Horton e Kostiakov, em função do tempo.



Embora seja observado grande oscilação nos resultados das taxas de infiltração instantâneas reais de água no solo, nota-se, pelo comportamento das curvas de infiltração (**Figura 4**), que o modelo de Horton apresentou ajuste satisfatório, uma vez que os valores finais tenderam a estabilização. Além disso, a curva representativa dos dados estimados pelo modelo, demonstrou de forma mais precisa o comportamento da infiltração em relação aos dados reais.

Ao analisar o comportamento dos valores estimados pelo modelo de Kostiakov em relação aos determinados em campo, verificou-se que o modelo tende a subestimar os valores iniciais, e a partir de 80 minutos, tende a superestimar a maior parte dos valores das taxas reais de infiltração instantânea.

Comportamento semelhante foi observado por Furquim et al. (2020), que concluíram que o modelo de Kostiakov subestima, em média, os valores das taxas de infiltração iniciais, ajustando-se satisfatoriamente aos dados reais na estimativa da VIB. Silva et al. (2019), também concluíram que os valores estimados pelo modelo de Kostiakov, da IA e das taxas de infiltração instantâneas, representaram adequadamente o comportamento da infiltração.

A **Tabela 2** apresenta os resultados do coeficiente de determinação, erro quadrático médio e erro médio absoluto para comparar os modelos.

Tabela 2. Comparação dos modelos de Horton e Kostiakov.

Modelos	Coefficiente de determinação (R ²)	Erro Quadrático Médio (EQM)	Erro Médio Absoluto (EMA)
Horton	0,80	85,05	56,86
Kostiakov	0,67	83,30	59,67

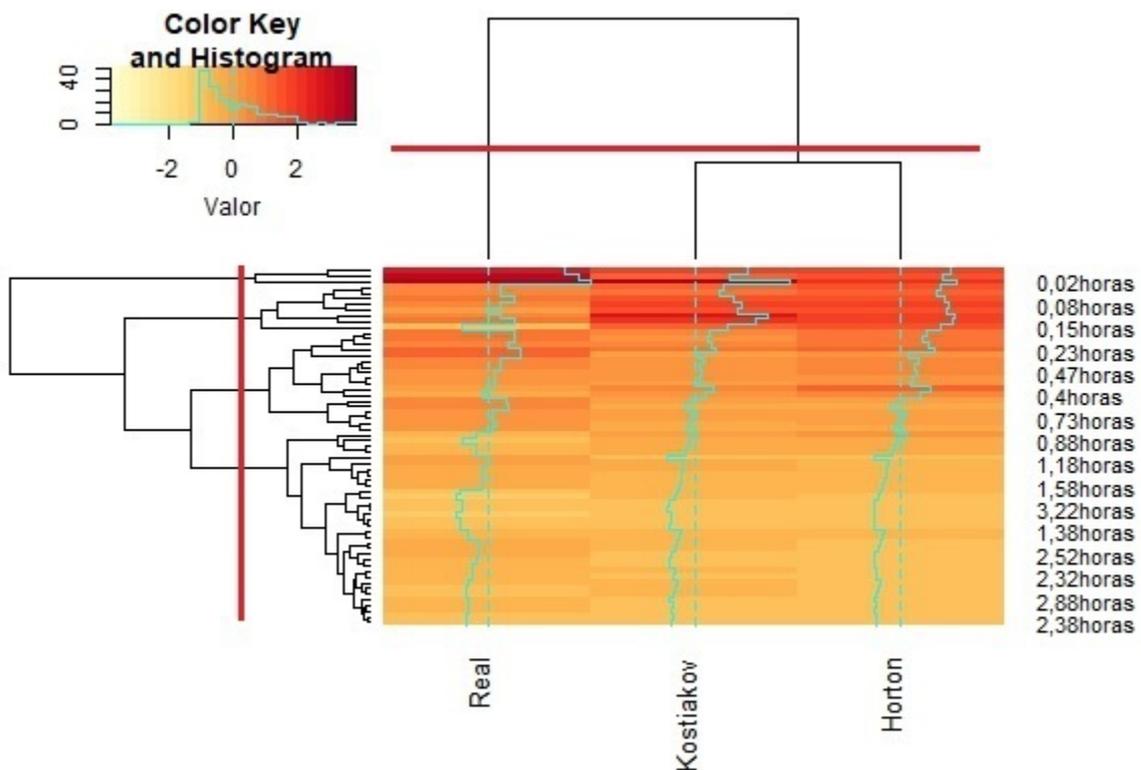
O modelo de Horton expressou melhores resultados no coeficiente de determinação (0,80) e erro médio absoluto (56,86) em comparação ao modelo de Kostiakov, com valores de 0,67 e 56,86 nos parâmetros de coeficiente de determinação e erro médio absoluto, respectivamente. Já para o erro quadrático médio, o modelo de Kostiakov (83,30) apresentou melhores resultados, enquanto o modelo de Horton obteve o valor de 85,05 para o mesmo parâmetro. Paixão et al. (2004) realizando testes de infiltração com o infiltrômetro de duplo anel em um solo caracterizado como Franco Arenoso também encontraram valores do coeficiente de determinações melhores para o modelo de Horton (0,99), enquanto o modelo de Kostiakov obteve um valor de 0,95 para o mesmo parâmetro.

Por outro lado, Almeida et al. (2020) também utilizando o infiltrômetro de duplo anel em um Cambissolo, encontraram em seu estudo valores no coeficiente de determinação de 0,97 para o modelo de Kostiakov e 0,87 para o modelo de Horton.

A **Figura 5** apresenta o mapa de calor da taxa de infiltração real estimada em campo e as estimadas pelos modelos de Horton e Kostiakov em relação ao tempo.

No mapa de calor é possível observar que nos tempos (verticalmente) ocorre maior heterogeneidade no início do ensaio, o que explica a diferença entre os modelos, mas no final do ensaio os tempos apresentam-se homogêneos. Em relação aos modelos e à taxa de infiltração real, o modelo de Horton e de Kostiakov não apresentam diferença entre eles, no entanto, o modelo de Kostiakov é o que mais se aproxima da infiltração real.

Figura 5. Mapa de calor.



CONCLUSÕES

Observou-se elevada taxa de infiltração de água no início do processo, que pode ser resultante da baixa umidade na camada superficial do solo.

Se verificou que até 25 minutos de ensaio o modelo de Horton tende a superestimar a maioria dos valores das infiltrações instantâneas reais. Já o modelo de Kostiakov tende a subestimar os valores iniciais da taxa de infiltração e superestimar a partir de 80 minutos de ensaio.

Apesar da grande oscilação nos valores das taxas de infiltração instantâneas reais, os modelos de Horton e Kostiakov apresentaram ajuste satisfatório ao comportamento da taxa de infiltração na área experimental.

Por meio da análise do mapa de calor, entende-se que o modelo de Kostiakov é o que mais se aproxima da infiltração real.

Sugere-se mais estudos sobre a infiltração de água na área experimental, com análises das propriedades físicas do solo, para melhor entendimento do comportamento da infiltração na região.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. C. S. **Capacidade de infiltração em Neossolo flúvico e Cambissolo haplicono semiárido pernambucano**. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2017.

ALMEIDA, C. C.; PISCOYA, V. C.; BARRETO, N. A.; NETO, F. C. R. Capacidade de infiltração em neossolo flúvico e cambissolo háplico no semiárido pernambucano. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.240612>

BAZZO, J. A.; HORN, P. L. **Calibração do modelo matemático de infiltração de Horton em pavimento de concreto tipo blocos intertravados**. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2017.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: Editora UFV, 2006.

BRANDÃO, V. S. CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: Editora UFV, 2006.

BRITO, L. T.; LOUREIRO, B. T.; DENICULI, W.; RAMOS, M. M.; SOARES, J. M. Influência do método da determinação da velocidade de infiltração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 503-507, 1996.

CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Modelo para estimativa da infiltração de água e perfil de umidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 411-421, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200012>

CLIMATE-DATA.ORG. **CLIMA IRATI (BRASIL)**. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/irati-43661/>. Acesso em: 04 ago. 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2018.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 369-378, 2012.

FELIZARDO, L. M.; JUNIOR, M. S.; FARIA, G. A.; OLIVEIRA, J. N. Testes de infiltração de água no solo como forma de quantificar os parâmetros para equação de Horton. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.6767>

FURQUIM, L. C.; SOUZA, E. J.; SILVA, N. F.; NUÑEZ, D. N. C.; CABRAL, J. S. R.; SANTINI, J. M. K.; et al. Infiltração de água e resistência do solo à penetração em sistemas de cultivos integrados e em área de pastagem degradada. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, p. 82-95, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n5.a397>

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FILHO, J. C. F.; SOUSA, J. S. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 64-73, 2010.

IRATI, Prefeitura de. **HISTÓRIA**, 2020. Disponível em: https://irati.pr.gov.br/pagina/1_Hist%20oria.html. Acesso em: 04 ago. 2022.

MANCUSO, M. A.; FLORES, B. A.; ROSA, G. M. SCHROEDER, J. K.; PRETTO, P.R. P. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, n. 1, Edição Especial, p. 2890–2998, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236130810932>

MELLEK, J. E.; RIZZI, N. E.; RIBEIRO, J. C.; CORDEIRO, C. R. R.; ANDRADE, E. R. Velocidade de infiltração da água em Cambissolo de textura argilosa sob floresta ombrófila mista. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p.1923-1938, 2014.

MOREIRA, J. H.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Umidade atual. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília – DF: Embrapa, 2017.

NETTO, A. M.; ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G.; DALL’OLIO, A. Condutividade hidráulica não saturada de um podzólico amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p.1221-1228, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600019>

NUNES, J. A.; SILVEIRA, M. H.; SILVA, T. J.; NUNES, P.; CARVALHO, K. Velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anéis concêntricos em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 59-67, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020148177>

OLIVEIRA, D. B. C.; SOARES, W. A.; HOLANDA, M. A. C. R. de. Análise de Desempenho de Modelos de Infiltração Unidimensional de Água no Solo. **Revista Águas Subterrâneas**, p. 8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28947>

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA, T. L.; GUERRA, H. O. C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, 2009.

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S. AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, J. M.; COSTA, T. L. FEITOSA, R. M. Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 5, n. 1, 2004.

PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 1, p.129-137, 2006.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. de; RODRIGUES, D. B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1777-1786, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500032>

R Core Team. **The R project for statistical computing**. 2023. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 20 de jun. 2023.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. **Cadernos de Pesquisa**, v. 20, n. especial, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18764/2178-2229.v20n.especialp63-71>

SILVA, H. R. S. E.; SANTOS, J. F.; SILVA, A. I. F., NASCIMENTO, S. M. S. G. Infiltração de água e atributos físicos do solo em diferentes agroecossistemas no brejo paraibano. *In: II Congresso Paraibano de Agroecologia & IV Exposição Tecnológica*, 2019. Anais [...] Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v. 9, n.7, e-6983, 2019.

TOMASINI, B. A.; VITORINO, A. C. T.; GARBIATE, M. V.; SOUZA, C. M. A.; SOBRINHO, T. A. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com Cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p.1060-1070, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000600007>

Recebido em: 13/09/2023

Aprovado em: 28/12/2023